

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2003年 5月15日

出 願 番 号
Application Number:

特願2003-137052

[ST.10/C]:

[JP2003-137052]

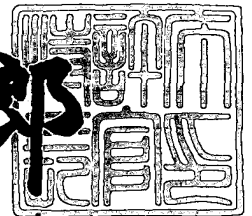
出 願 人
Applicant(s):

信越半導体株式会社

2003年 5月30日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3041348

【書類名】 特許願

【整理番号】 AX0321952S

【提出日】 平成15年 5月15日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会社
社 磯部工場内

【氏名】 篠原 政幸

【発明者】

【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会社
社 磯部工場内

【氏名】 山田 雅人

【特許出願人】

【識別番号】 000190149

【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

【代理人】

【識別番号】 100095751

【弁理士】

【氏名又は名称】 菅原 正倫

【電話番号】 052-212-1301

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-223134

【出願日】 平成14年 7月31日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003388

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9901665

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光素子の製造方法及び発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 単結晶基板上に、それぞれⅢⅢⅢ－Ⅴ族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層とを形成し、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極を形成する発光素子の製造方法において、

前記単結晶基板上に前記発光層部を有機金属気相成長法により形成する第一の気相成長工程と、

該第一の気相成長工程の後に、前記有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法により、前記電流拡散層を n 型半導体層として形成する第二の気相成長工程と

を有することを特徴とする発光素子の製造方法。

【請求項 2】 前記電流拡散層は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とし、かつ、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成されることを特徴とする請求項 1 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 3】 前記ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下とされることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 4】 前記第二の気相成長工程において、電流拡散層の形成厚さを $5 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下とすることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 5】 前記電流拡散層の前記電極を形成する側の主表面を含む表層部に、多数キャリアを生じさせるためのドーパントのキャリア濃度が前記電流拡散層内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層を形成することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項 6】 前記電流拡散層は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型半導体層として形成され、前記ドーパントのキ

キャリア濃度が、前記高濃度ドーピング層において $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、前記残余の部分において $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下とされることを特徴とする請求項5記載の発光素子の製造方法。

【請求項7】 前記電流拡散層において、電極形成側部分をそれ以外の部分よりもGaAs混晶比 $1-a$ が大きい高GaAs混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a < 1$) 層とし、当該高GaAs混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層に、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とする高濃度ドーピング層を形成することを特徴とする請求項2ないし請求項6のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項8】 前記電流拡散層と、前記発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なるIII-V族化合物半導体にて構成され、前記電流拡散層は、前記発光層部と接する部分が有機金属気相成長法により形成されるMO層部とされ、それ以外の部分がハイドライド気相成長法により形成されるHVPE層部とされることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項9】 前記電流拡散層内に、該電流拡散層とは導電型の異なるIII-V族化合物半導体よりなる電流阻止層を埋設形成する電流阻止層形成工程を含み、

前記電流拡散層の、前記電極側において該電流阻止層を覆う部分を少なくとも、前記第二の気相成長工程により形成することを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項10】 前記電流阻止層形成工程は、

前記発光層部の上に、前記電流拡散層の一部をなす第一導電型のIII-V族化合物半導体よりなる第一層と、前記電流阻止層をなす第二の導電型のIII-V族化合物半導体よりなる第二層とを有機金属気相成長法により順次形成する第三の気相成長工程と、

得られた第二導電型の化合物半導体層を、前記電流阻止層となるべき部分を残して残余の部分をエッチング除去するエッチング工程とを有し、

前記第二の気相成長工程は、前記第一層と同一導電型のⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体からなる第三層を、前記第二層のエッチング後の残余部分をくるむように前記ハイドライド気相成長法により形成するものであることを特徴とする請求項9記載の発光素子の製造方法。

【請求項11】 前記第一層及び前記第二層を、いずれもAlを含有しないⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体により形成することを特徴とする請求項10記載の発光素子の製造方法。

【請求項12】 前記第一層、前記第二層及び前記第三層をいずれも、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) により形成することを特徴とする請求項11記載の発光素子の製造方法。

【請求項13】 前記第一層と前記第二層との間に、両層のいずれとも材質の異なるⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体からなる第四層を介挿形成し、

前記エッチング工程において、前記第四層をエッチストップ層として前記第二層を化学的に選択エッチングすることを特徴とする請求項12記載の発光素子の製造方法。

【請求項14】 前記第四層の厚みを1nm以上100nm以下に調整することを特徴とする請求項13記載の発光素子の製造方法。

【請求項15】 前記発光層部は、2種以上のⅢⅢⅢ族元素を含む $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成されるn型クラッド層、活性層及びp型クラッド層が前記電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有することを特徴とする請求項1ないし請求項14のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法。

【請求項16】 前記単結晶基板はオフアングルを有するものが使用されるとともに、該単結晶基板は、 $\langle 100 \rangle$ 方向を基準方向として、前記オフアングルが 1° 以上 25° 以下の主軸を有するGaAs単結晶基板であることを特徴とする請求項15に記載の発光素子の製造方法。

【請求項17】 前記単結晶基板は前記オフアングルが 10° 以上 20° 以下の主軸を有するGaAs単結晶基板であることを特徴とする請求項16記載の

発光素子の製造方法。

【請求項 1 8】 前記第二の気相成長工程において、 $GaAs_{1-a}P_a$ ($0 \leq a < 1$) からなる前記電流拡散層を前記ハイドライド気相成長法により $640^{\circ}C$ 以上 $750^{\circ}C$ 以下の温度にて成長することを特徴とする請求項 1 7 記載の発光素子の製造方法。

【請求項 1 9】 単結晶基板上へのエピタキシャル成長により形成した、それぞれ III-V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層とを有する発光素子において、

前記発光層部は有機金属気相成長法により形成されてなり、

該発光層部の上に、前記電流拡散層が前記有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法を用いて n 型半導体層として形成されてなることを特徴とする発光素子。

【請求項 2 0】 前記電流拡散層の前記ハイドライド気相成長法により形成された部分の C 濃度が $7 \times 10^{17} / cm^3$ 以下であることを特徴とする請求項 1 9 記載の発光素子。

【請求項 2 1】 前記電流拡散層と、前記発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なる III-V 族化合物半導体にて構成され、前記電流拡散層は、前記発光層部と接する部分が有機金属気相成長法による MO 層部として形成され、それ以外の部分がハイドライド気相成長法による HVPE 層部として形成されたものであることを特徴とする請求項 1 9 又は 2 0 に記載の発光素子。

【請求項 2 2】 単結晶基板上へのエピタキシャル成長により形成した、それぞれ III-V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層と、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極とを有する発光素子において、

前記発光層部は、2 種以上の III 族元素を含む $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成される n 型クラッド層、活性層及び p 型クラッド層が、前記電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有し、かつ、前記 n 型クラッド層が Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上をドーパントとする n 型 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ に

て構成され、

前記電流拡散層は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とし、かつ、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成され、さらに、

前記電流拡散層中の C 濃度が、前記 n 型クラッド層の C 濃度よりも小さくされてなることを特徴とする発光素子。

【請求項 23】 前記電流拡散層の前記発光層部と接する部分が有機金属気相成長法による MO 層部として形成され、それ以外の部分がハイドライド気相成長法による HVPE 層部として形成されたものであることを特徴とする請求項 2 に記載の発光素子。

【請求項 24】 前記電流拡散層の形成厚さを $5 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下とすることを特徴とする請求項 21 ないし請求項 23 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 25】 前記電流拡散層の前記電極を形成する側の主表面を含む表層部に、Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされるドーパントのキャリア濃度が前記電流拡散層内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層を形成することを特徴とする請求項 21 ないし請求項 24 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 26】 前記電流拡散層は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型半導体層として形成され、前記ドーパントのキャリア濃度が、前記高濃度ドーピング層において $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、前記残余の部分において $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下とされることを特徴とする請求項 25 に記載の発光素子。

【請求項 27】 前記電流拡散層において、電極形成側部分を、それ以外の部分よりも GaAs 混晶比 $1-a$ が大きい高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a < 1$) 層とし、当該高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層に、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とする高濃度ドーピング層を形成することを特徴とする請求項 25 又は請求項 26 に記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は発光素子の製造方法及び発光素子に関し、詳細には、発光の取出をn型半導体層側から行なう発光素子に適した発光素子の製造方法および発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

$(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 混晶（ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ；以下、 $AlGaInP$ 混晶、あるいは単に $AlGaInP$ とも記載する）により発光層部が形成された発光素子は、薄い $AlGaInP$ 活性層を、それよりもバンドギャップの大きいn型 $AlGaInP$ クラッド層とp型 $AlGaInP$ クラッド層とによりサンドイッチ状に挟んだダブルヘテロ構造を採用することにより、高輝度の素子を実現できる。また、このような発光素子においては、発光層部にて得られる発光を取り出す側が、n型 $AlGaInP$ クラッド層側またはp型 $AlGaInP$ クラッド層側のいずれかが採用される。なお、本発明においては、発光層部における発光をn型半導体層側から取り出す発光素子を対象とする。つまり、ここでは、n型 $AlGaInP$ クラッド層側から発光を取り出すものとなる。

【0003】

例えば、 $AlGaInP$ 発光素子を例に取れば、p型GaAs基板上にヘテロ形成させる形にて、p型GaAsバッファ層、p型 $AlGaInP$ クラッド層、 $AlGaInP$ 活性層、n型 $AlGaInP$ クラッド層をこの順序にて積層し、ダブルヘテロ構造をなす発光層部を形成する。発光層部への通電は、素子表面に形成された金属電極を介して行なわれる。ここで、金属電極は遮光体として作用するため、例えば発光層部主表面の中央部のみを覆う形で形成され、その周囲の電極非形成領域から光を取り出すようにする。

【0004】

この場合、金属電極の面積をなるべく小さくしたほうが、電極の周囲に形成さ

れる光漏出領域の面積を大きくできるので、光取出し効率を向上させる観点において有利である。従来、電極形状の工夫により、素子内に効果的に電流を拡げて光取出量を増加させる試みがなされているが、この場合も電極面積の増大はいずれにしろ避けがたく、光漏出面積の減少により却って光取出量が制限されるジレンマに陥っている。また、クラッド層のドーパントのキャリア濃度ひいては導電率は、活性層内でのキャリアの発光再結合を最適化するために多少低めに抑えられており、面内方向には電流が広がりにくい傾向がある。これは、電極被覆領域に電流密度が集中し、光漏出領域における実質的な光取出量が低下してしまうことにつながる。そこで、クラッド層と電極との間に、キャリア濃度を高めた低抵抗率の電流拡散層を形成する方法が採用されている。他方、厚膜の電流拡散層を素子裏面側に配置し、素子基板に兼用させる構成も考えられる（この場合、該電流拡散層は導電性の素子基板とみなすこともできるが、本明細書ではこれも広義に電流拡散層の概念に属するものとみなす）。従来、このような電流拡散層は、発光層部とともに、有機金属気相成長法（Metal Organic Vapor Phase Epitaxy：以下、MOVPE法ともいう）により形成されることが多かった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上記のような発光素子における電流拡散層は、面内方向に電流を十分に拡げるために、層厚をある程度大きく設定すること、例えば発光層部よりは厚みを大きくして形成されるのが一般的である。しかし、MOVPE法は層成長速度が小さく、十分な厚さの電流拡散層を成長させるには非常な長時間を要し、製造能率の低下とコストの増大を招く問題がある。また、III族元素源としてMOVPE法に使用する有機金属は一般に高価である。さらに、MOVPE法においては、結晶性の向上を図るために、III族元素源に対してV族元素源（ AsH_3 、 PH_3 など）を相当大的な比率（10～数百倍）にて配合しなければならないことも、コスト上は不利に作用する。

【0006】

また、MOVPE法により成長された電流拡散層には、有機金属分子からのH（水素）やC（炭素）が残留しやすい。そして、電流拡散層の導電性をSi（シ

リコン)、S(硫黄)、Se(セレン)やTe(テルル)のドーピングによりn型とする場合、残留したCがp型ドーパントとして寄与してしまい、電流拡散層として必要な導電率を確保するには、比較的多量のSi、S、SeやTeのn型ドーパントの添加が必要となる。しかし、これらn型ドーパントを多量に添加すると、以下のような問題を生ずる。

【0007】

すなわち、発光素子は、通電を継続するに伴い発光輝度が次第に低下する。例えば、一定電流により素子への通電を開始した直後に測定した発光輝度を初期輝度とし、積算通電時間の経過に従い減少する発光輝度を追跡したとき、発光輝度が予め定められた限界輝度に到達する時間、あるいは評価通電時間を一定値(例えば1000時間)に固定したときの、初期輝度に対する評価通電時間経過後の輝度の比(以下、これを素子ライフと称する)は、素子寿命を評価するための一定の尺度となりえる。そして、電流拡散層中の、特に発光層部と隣接する部分のn型ドーパントの含有濃度が高くなりすぎると、この素子ライフが低下しやすくなる。

【0008】

本発明は、導電型がn型とされる電流拡散層を効率よく形成できる発光素子の製造方法を提供することを第一の課題とする。また、n型とされる電流拡散層を用いつつも、素子ライフを向上可能な発光素子を提供することを第二の課題とする。

【0009】

【課題を解決するための手段および作用・効果】

上記第一の課題を解決するために、本発明の発光素子の製造方法は、

単結晶基板上に、それぞれIII-V族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層とを形成し、発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極を形成する発光素子の製造方法において、

単結晶基板上に発光層部を有機金属気相成長法により形成する第一の気相成長工程と、

該第一の気相成長工程の後に、有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気

相成長法により、電流拡散層をn型半導体層として形成する第二の気相成長工程と

を有することを特徴とする。

【0010】

また、本発明の発光素子の第一の構成は、

単結晶基板上へのエピタキシャル成長により形成した、それぞれIII-V族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層とを有する発光素子において、

発光層部は有機金属気相成長法により形成されてなり、

該発光層部の上に、電流拡散層が前記有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法を用いてn型半導体層として形成されてなることを特徴とする。

【0011】

本発明においては、電流拡散層を、n型半導体層として、ハイドライド気相成長法 (Hydride Vapor Phase Epitaxial Growth Method: 以下、HVPE法という) を用いて形成する。HVPE法は、蒸気圧の低いGaを塩化水素との反応により気化しやすいGaClに転換し、該GaClを媒介とする形でV族元素源ガスとGaとを反応させることにより、III-V族化合物半導体層の気相成長を行なう方法である。MOVPE法による層成長速度が約4 $\mu\text{m}/\text{時}$ であるのに対しHVPE法では約9 $\mu\text{m}/\text{時}$ であり、HVPE法によると層成長速度をMOVPE法よりも大きくでき、ある程度厚さを要する電流拡散層も非常に高能率にて形成できるので、原材料費をMOVPE法よりもはるかに低く抑えることができる。また、HVPE法では、III族元素源として高価な有機金属を使用せず、III族元素源に対するV族元素源 (AsH_3 、 PH_3 など) の配合比率もはるかに少なく済む (例えば1/3倍程度) ので、コスト的に有利である。

【0012】

特に電流拡散層の材質として、 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) を採用すると、HVPE法による成長が容易で、高品質の電流拡散層を得やすくなる利点がある。なお、本発明において、 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) は、GaP混晶比aが1の場合を含むので、GaPの概念を含んでいる。他方、GaP混晶比aが0の場合も含むので、GaAsも概念として含むが、GaAsはGaPより

もバンドギャップが小さいので発光層部 2 4 からの発光光束に対する吸収を生じやすい。従って、GaP 混晶比 a は 0 より大きく設定することが望ましい。

【0013】

本発明における電流拡散層は、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とし、かつ、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成されることを特徴とする。本発明においては、電流拡散層を HVPE 法により成長するので、MOVPE 法と異なり H や C の残留が生じにくい。従って、電流拡散層を、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成する場合、 p 型ドーパントとされる C の残留量が抑制されることにより、それら n 型ドーパントのドーピング効率を効果的に高めることが可能となる。このことは、必要な導電率を確保するための n 型ドーパントの添加量を、MOVPE 法による電流拡散層と比較してはるかに少量に留めることができることを意味し、結果として、 n 型ドーパントの含有濃度の軽減により前述の素子ライフを大幅に向上することができる。HVPE 法（ハイドライド気相成長法）により形成された電流拡散層の C 濃度は、例えば $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下に留めることが可能であり、検出限界以下（例えば $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度あるいはそれ以下）とすることも比較的容易である。つまり、電流拡散層のハイドライド気相成長法により形成された部分の C 濃度は、 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下とすることができる。なお、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層からなる電流拡散層は、光吸収を抑制して光取出し効率を向上させるため、発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーが大きくなるように、GaP 混晶比 a を選択することが望ましい。

【0014】

電流拡散層における、Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型のドーパントのキャリア濃度は、例えば $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下とすることができる。電流拡散層の n 型ドーパントのキャリ

ア濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 未満では十分な導電率と電流拡散効果が得られず、 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ を超えると合金化により結晶性が損なわれる。

【0015】

本発明においては、電流拡散層を成長速度の大きいHVPE法にて成長するので、MOVPEでは現実的な時間の範囲内で成長困難な $20 \mu\text{m}$ 以上の電流拡散層も、比較的高能率に得られる利点がある。特に、 $50 \mu\text{m}$ 以上の厚さに電流拡散層を成長させれば、該電流拡散層を素子基板に兼用させることも可能となる。この場合、該素子基板を兼用する電流拡散層は、発光層部の光取出面側に配置してもよいし（この場合、電流拡散層の主表面の一部領域のみが電極にて覆われる）、裏面側に配置してもよい。

【0016】

電流拡散層を裏面側に配置する場合は、発光層部からの光に対し透光性を有する該電流拡散層の裏面を部分的に覆うコンタクト層を形成することができる。また、電流拡散層の裏面側にてコンタクト層を、該コンタクト層の非形成領域とともに覆う、反射層を兼ねた金属電極で覆うこともできる。この場合、コンタクト層は金属電極と電流拡散層との接合抵抗を低減する役割を果たす。他方、電流拡散層の裏面側にて該コンタクト層を、コンタクト層の非形成領域とともにAgペースト等の金属ペースト層で覆うこともできる。いずれの態様においても、特にコンタクト層の非形成領域において金属電極又は金属ペースト層による発光光束の反射効果を高めることができる。

【0017】

なお、電流拡散層の厚さが $200 \mu\text{m}$ を超えると、HVPE法を用いているといえども成長時間が相当長くなり、製造能率の低下につながる場合がある。このような観点から、電流拡散層（第二の気相成長工程において形成される）の形成厚さは $200 \mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。ただし、電流拡散層が過度に薄くなれば、電流拡散効果が十分に得られなくなって発光効率の低下につながる。従って、電流拡散層の厚さは、 $5 \mu\text{m}$ 以上は確保しておくことが望ましい。なお、電流拡散層を素子基板に兼用させない場合は、製造能率を優先させて、その形成厚さを $50 \mu\text{m}$ 未満に留めることが望ましい。特に、成長温度が比較的高い場合

(例えば 800℃以上)は、電流拡散層の厚さを 50 μm 以上に増加させても発光強度の大幅な増加は望めないので、電流拡散層の厚さを 50 μm 未満、望ましくは 20 μm 以下に留めることが望ましいといえる。他方、後述のごとく、成長用の単結晶基板のオフアングル最適化により、HVPE法による電流拡散層の成長温度は大幅に低減できるので、この場合は、電流拡散層を厚膜化することにより発光強度をさらに向上でき、50 μm 以上の層厚設定が有効となる場合がある。

【0018】

次に、電流拡散層の電極を形成する側の主表面を含む表層部には、多数キャリアを生じさせるためのドーパントキャリア濃度が電流拡散層内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層を形成することが望ましい。このような高濃度ドーピング層を形成することにより、電流拡散層表層部での電流の面内拡散効果が高められ、ひいては層厚が小さくとも十分な電流拡散効果が得られる。また、層の全体に渡ってドーパント含有濃度を高めるのではなく、表層部だけ選択的に高濃度化するので、ドーパント含有濃度が過剰となることによる前述の素子ライフ低下や、多数キャリアによる光の散乱損失といった問題も生じにくい。特に、電流拡散層の層厚を 20 μm 以下に薄く設定する場合、高濃度ドーピング層を設けることの効果は大きい。

【0019】

高濃度ドーピング層を形成することのメリットとしては、本発明のように電流拡散層を n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層といった n 型半導体層として構成する場合に特に顕著である。すなわち、本発明においては、HVPE法により電流拡散層を成長するので、残留する C が p 型ドーパントとして振舞う量が少なく、元から Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントの添加量を削減することができる。その結果、素子ライフ低下等を生ずる限界量までの n 型ドーパントの濃度マージンが大きく、高濃度ドーピング層を形成しても素子ライフ等に与える影響を本質的に小さく留めることができる。なお、電流拡散層にハイドライド気相成長法により形成された HVPE 層部を形成する場合、該 HVPE 層部は、発光層部に近い主表面側において n 型ドーパント含

有濃度を、n型クラッド層のn型ドーパント含有濃度よりも低く設定しておくこと、素子ライフの低下抑制を一層効果的に図ることができる。

【0020】

具体的には、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上としたn型半導体層として形成される電流拡散層におけるドーパントのキャリア濃度について、高濃度ドーピング層においては、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下となっていることが望ましい。高濃度ドーピング層のn型ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満では、高濃度ドーピング層の面内方向の電流拡散促進効果に乏しくなり、 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ を超えると、合金化により結晶性が損なわれる懸念が生ずる。また、高濃度ドーピング層の厚さは $1 \mu\text{m}$ 以上 $4 \mu\text{m}$ 以下に調整することが望ましい。厚さが $1 \mu\text{m}$ 未満では面内方向電流拡散の促進効果に乏しく、 $4 \mu\text{m}$ を超えると電流拡散層全体に占める高濃度ドーピング層の厚さ比率が大きくなりすぎ、同様に、合金化により結晶性が損なわれ素子ライフや発光強度の低下を招く恐れがある。

【0021】

一方、電流拡散層内の、高濃度ドーピング層以外の残余の部分においては、n型ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下となっていることが望ましい。該部分のn型ドーパントのキャリア濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 未満では、該部分の直列抵抗が増大し、発光効率の低下を招く。他方、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ を超えると、該部分から発光層部側へn型ドーパントが多く拡散し、発光性能の低下等を生ずる場合がある。すなわち、電流拡散層を、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上としたn型半導体層として形成するとき、そのドーパントのキャリア濃度が、高濃度ドーピング層において $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下とし、高濃度ドーピング層以外の残余の部分において $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下とするのが望ましい。

【0022】

なお、電流拡散層はGaPにて構成すれば、GaPは比較的広いバンドギャップを有しているので、発光層部から発光波長の短い光が放出されている場合でも

光吸収を起しにくい。従って、光取出し効率を確保する上で有利であり、また、光吸収抑制を考慮したときの発光層部の材料選択幅も広げられる利点がある。

【 0 0 2 3 】

一方、GaAsを配合した $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ により電流拡散層を構成すると、以下のような利点が生ずる。GaAsは、GaPに比べて成長温度が低く、電流拡散層を形成する際に、n型ドーパントが発光層部側に過度に拡散したり、あるいは発光層部内のドーパントの拡散による分布変化、特に、ダブルヘテロ構造におけるクラッド層から活性層へのドーパントの拡散により、発光性能が低下したりする不具合を効果的に抑制することが可能となる。なお、この目的にて $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ を採用する場合は、所望の発光波長に相当するバンドギャップより大きくなるように、GaPの混晶比aが0.5以上0.9以下の範囲で設定することが望ましい。GaPの混晶比aが0.9を超えると、GaAsの混晶比が小さくなりすぎ、HVPE法により成長する際の成長温度が高くなってドーパントの拡散抑制効果が十分に得られなくなる場合がある。一方、GaPの混晶比aが0.5未満では、GaAsの混晶比が高くなり、バンドギャップが縮小して光吸収が生じやすくなる場合がある。

【 0 0 2 4 】

また、電流拡散層の電極形成部分を、それ以外の部分よりもGaAs混晶比 $1-a$ が大きい高GaAs混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a < 1$) 層とし、当該高GaAs混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層に、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上をn型ドーパントのドーパント源とする高濃度ドーピング層を形成すると、該ドーパントの過度の拡散を抑制することが可能となり、ひいては、高濃度ドーピング層に対して電流拡散層表層部での電流の面内拡散効果をさらに効果的に付与することができる。高GaAs混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層は高濃度ドーピング層よりも少し(0.5 μm から2 μm 程度)厚く形成するのがよく、高濃度ドーピング層を例えば1 μm 以上4 μm 以下にて形成する場合、高GaAs混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層は2 μm 以上5 μm 以下にて形成するとよい。

【 0 0 2 5 】

本発明において、電流拡散層は、その全体をHVPE法にて形成することを排

除しない。しかし、電流拡散層と、発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なるⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体にて構成される場合、その格子定数差がある程度大きい場合は、発光層部上に直接HVP E法により電流拡散層を形成すると、電流拡散層の結晶性が低下し、発光性能の低下を招くおそれがある。そこで、このような場合、電流拡散層は、発光層部と接する部分を有機金属気相成長法により形成されるMO層部とし、それ以外の部分をハイドライド気相成長法により形成されるHVP E層部とすれば、電流拡散層の結晶性が向上し、ひいては発光特性の良好な発光素子が得られる。すなわち、電流拡散層と、発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なるⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体にて構成されるとき、電流拡散層を、発光層部と接する部分を有機金属気相成長法により形成されるMO層部とし、それ以外の部分をハイドライド気相成長法により形成されるHVP E層部とするのが望ましい。

【 0 0 2 6 】

次に、本発明の発光素子においては、電流拡散層内に、該電流拡散層とは導電型の異なるⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体よりなる電流阻止層を埋設形成することができる。そこで、本発明の製造方法においては、電流拡散層内に、該電流拡散層とは導電型の異なるⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体よりなる電流阻止層を埋設形成する電流阻止層形成工程を含み、電流拡散層の、発光層部とは反対側の電極側において該電流阻止層を覆う部分を少なくとも、第二の気相成長工程により形成することを特徴とする。電極は遮光体として作用するため、この電極に素子駆動のための電圧を印加した場合、素子内の電流密度は電極直下付近で高く、光取出領域となる電極の周囲領域では低くなることにより、光取出効率が低下しやすくなる。そこで、上記のような電流阻止層を、例えば電極の電極直下位置において電流拡散層中に埋設形成すれば、電流阻止層により電流に電極領域外への迂回が生じ、光取出効率を高めることができる。なお、本明細書において電流阻止層は、電流拡散層に属さないものとして考える。

【 0 0 2 7 】

この場合、該電流阻止層を埋設形成する電流阻止層形成工程が必要となる。そして、本発明においては、電流拡散層内の、電極側において該電流阻止層を覆う

部分を少なくとも、第二の気相成長工程（つまり、HVPE法）により形成する。電流阻止層を埋設形成する際に、電流阻止層を覆う電流拡散層部分をMOVPE法やLPE法で形成すると、最終的な電流拡散層の表面に、電流阻止層の形状がパターンダレした大きな段差が結晶欠陥を伴って生じやすい問題がある。このような段差や結晶欠陥は、電極との導通不良を招いたり、あるいは画像処理を用いて電極にワイヤを自動ボンディングする際には、画像の誤検出要因となっており、ワイヤボンディングを形成する工程での能率及び歩留まり低下を招く場合がある。しかし、HVPE法で電流阻止層を覆う電流拡散層部分を形成すると、そのような段差や結晶欠陥がほとんど生じず、表面の平滑な電流拡散層が得られ、上記のような不具合が生じにくい。

【0028】

電流阻止層形成工程は、具体的には以下のような工程を含むものとして実施することができる。

①第三の気相成長工程：発光層部の上に、電流拡散層の一部をなす第一導電型（つまりn型）のIII-V族化合物半導体よりなる第一層と、電流阻止層をなす第二の導電型（つまりp型）のIII-V族化合物半導体よりなる第二層とを有機金属気相成長法（MOVPE法）により順次形成する。

②エッチング工程：得られた第二導電型（p型）の化合物半導体層を、電流阻止層となるべき部分を残して残余の部分をエッチング除去する。

そして、第二の気相成長工程は、第一層と同一導電型のIII-V族化合物半導体からなる第三層を、第二層のエッチング後の残余部分をくるむようにハイドライド気相成長法（HVPE法）により形成する。

【0029】

第一層は、電流拡散層の、電流阻止層に対する下地となる部分をなすものであり、第二層は電流阻止層をなす部分である。上記方法によると、第一層及び第二層を形成する第三の気相成長工程を、発光層部の形成される第一の気相成長工程に続く形で、同じMOVPE法により実施できるので能率的である。これら第一の気相成長工程及び第三の気相成長工程を同一の成長容器内で基板を容器外に取り出さずに連続的に行なうと、特に効果が大きい。

【0030】

この場合、第三の気相成長工程が終了すると、基板を容器外に取り出して、HVPE法により第二の気相成長工程を行なうための容器に移し替える必要がある。このとき、第一層及び第二層は容器外の雰囲気にさらされるので、酸化の影響が問題になる場合がある。また、後述のように第二層を化学エッチングする場合は、そのエッチング時に受ける酸化も考慮する必要がある。この観点においては、第一層及び第二層を、いずれも、酸化されやすい元素であるAl（アルミニウム）を含有しないIII-V族化合物半導体により形成するとよい。具体的には、第一層、第二層及び第三層をいずれも $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ：発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい）により形成することができる。これは、第三層をHVPE法にて形成する際に、 $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ）が最も成長が容易で高品質のものが得られるためであり、MOVPEにより形成される第二層も、これに合わせ込む形で $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ）を採用する。また、第一層を同じ $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ：発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい）とすることにより、第三の気相成長工程において、MOVPE法により第一層を形成後、第二層の形成に移行する際に原料ガスの切り替えが不要となり、製造が容易となる。なお、各層のGaP混晶比aを同じに設定しておく、と、製造がより容易となる。また、不要なバンド端不連続も生じないので、それによる発光性能の低下等も懸念する必要がなくなる。

【0031】

なお、第二層と第一層とは、同じ $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ）であっても導電型は反対とされる。第三層を、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上をn型ドーパントとするn型 $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ）層とする場合、第二層はZn（亜鉛）やMg（マグネシウム）等をドーパントとするp型 $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ）層とする。なお、この場合の電流拡散層は、MOVPE法による第一層と、HVPE法による第三層とでn型ドーパントの種別を異ならせてもよい。

【0032】

上記第一層と接触する第三層には、高濃度ドーピング層を形成することが電流拡散効果を高める上でより有利である。第三層の高濃度ドーピング層以外の部分、つまり、第一層と接する部分のドーパント含有濃度を、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下に十分に低く設定しておくこと、高濃度ドーピング層からの Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントの拡散の影響が第三層を経て発光層部に及ぶ不具合を効果的に抑制することができる。

【0033】

次に、エッチング工程において、第二層をエッチングする方法としては、気相エッチングを行なってもよいが、エッチング液を用いた化学エッチングが簡便で、能率もよいので本発明に好適に採用できる。この化学エッチングは、第二層に対するエッチング活性が、第一層に対するエッチング活性よりも高く、第二層のみを選択的にエッチングできるものを使用することが好ましい。しかし、第一層と第二層とが同一材質の化合物半導体よりなる場合、第一層と第二層とに対して顕著なエッチング活性差を有したエッチング液を得ることは容易ではなく、例えばやむを得ずエッチング活性差の小さい液を用いてエッチングを行なうと、選択エッチング能力が不足して、第一層にまでエッチングの影響が大きく及んでしまう不具合を生ずる。

【0034】

このような場合、第一層と第二層との間に、両層のいずれとも材質の異なる III-V 族化合物半導体からなる第四層を介挿形成し、エッチング工程において、第四層をエッチストップ層として第二層を第一のエッチング液により化学的に選択エッチングすることが有効である。つまり、第二層とは材質の相違する第四層を、該第二層の下地として形成しておけば、材質が同じである第一層と第二層とに対しては適当なエッチング液が見つからなくても、材質が相違する第二層と第四層とであれば、適当な選択エッチング性を有したエッチング液を容易に見出すことができる。そして、このようなエッチング液を第一のエッチング液として用いることにより、エッチング工程においては該第四層がエッチストップ層とし

て作用し、第二層を容易に選択エッチングできる。また、この第四層は、第二層の電流阻止層として残る部分の直下はエッチングされずに残留するが、その残留部分は電流阻止層により電流が遮られる部分に生ずるので、発光特性等には何ら影響しない。

【0035】

この第四層は、Alを含有しないIII-V族化合物半導体にて形成することが望ましい。すなわち、第二層を第一のエッチング液により選択エッチングする際に、エッチストップ層となる第四層にAlが含有されていると、エッチング液とAlとが反応して絶縁性のAl酸化層が形成される場合がある。後述の通り、第四層の露出部分を第二のエッチング液によりエッチング除去して第三層の形成を行なう場合は、Al酸化層はそのエッチングの妨げとなる。また、第四層を残して第三層を形成すると、Al酸化層により直列抵抗が増加する上、第三層の第四層上へのエピタキシャル成長が妨げられる場合がある。いずれも、発光特性の低下につながる。

【0036】

例えば、第二層をp型 $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{P}$ ($0 < d \leq 1$) 又はp型 $(\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b})_c\text{In}_{1-c}\text{P}$ ($0 < b \leq 1$; $0 \leq c \leq 0.5$) にて形成する場合は、第一層をn型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) にて形成し、第二層に対するエッチング液として、例えば塩酸を用いる。すると、特に第四層を設けなくとも第二層を第一層に対して問題なく選択エッチングできる。しかし、第二層に含まれるAlの酸化が問題となる場合は、第二層もp型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) にて形成することが有効である。この場合は、第二層を化学エッチングにより選択エッチングすることが難しくなるので、例えば第二層よりもGaPの混晶比が大きい $\text{GaAs}_{1-b}\text{P}_b$ ($a < b \leq 1$) にて形成された第四層を介挿すると、第二層と第四層との間には選択エッチング性を付与しやすくなる。特に、第二層と第一層とが $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0.5 \leq a \leq 0.9$) からなり、第四層がGaPとされている場合、第四層によるエッチストップ効果が顕著である。この場合、第一のエッチング液としては、一例として硫酸あるいは硫酸と過酸化水素水との混合液を使用することにより、第四層をエッチストップ層とした第二

層の選択エッチングを効果的に行なうことができる。

【 0 0 3 7 】

第四層の厚みは 1 n m 以上 1 0 0 n m 以下に調整することが望ましい。該厚みが 1 n m 未満ではエッチストップ効果が十分に得られず、1 0 0 n m より厚く形成することは、エッチストップ効果が飽和して不経済である。

【 0 0 3 8 】

例えば、第四層をエッチストップ層として第二層の外側を第一のエッチング液により化学的に選択エッチングした後、当該第二層の外側に露出している第四層を、第一層をエッチストップ層として第二のエッチング液により化学的に選択エッチングして第一層を露出させ、その後、第二の気相成長工程により第三層を第一層の外側と接するように形成することができる。このようにすると、電流阻止層として残った第二層の周囲において、電流拡散層をなす第一層と第三層との間に、不要な第四層が残留せず、該第四層による光吸収等の問題も生じにくい。なお、第四層の厚さを 1 0 n m 以上 5 0 n m 以下の小さな範囲に設定すれば、第四層による光吸収等の影響はほとんど生じないので、第二層の外側に露出している第四層をエッチングせずに第三層を形成することも可能である。

【 0 0 3 9 】

発光層部は、2 種以上の I I I 族元素を含む $(A l_x G a_{1-x})_y I n_{1-y} P$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成される n 型クラッド層、活性層及び p 型クラッド層が、発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして形成できる。活性層の両側に形成されるクラッド層とのバンドギャップ差に起因したエネルギー障壁により、注入されたホールと電子とが狭い活性層中に閉じ込められて効率よく再結合するので、非常に高い発光効率を実現できる。さらに、活性層の組成調整により、広範囲の発光波長を実現することができる。

【 0 0 4 0 】

次に、本発明の製造方法においては、オフアングルを有する単結晶基板を用いることができる。本明細書において、「オフアングルを有する」とは、化合物半導体層が積層される単結晶基板の結晶主軸が、 $\langle 1 0 0 \rangle$ または $\langle 1 1 1 \rangle$ 等に

定められた基準方向に対し一定の角度傾けてあることをいう。

【0041】

2種以上のIII族元素を含む混晶化合物半導体からなる発光層部、例えば $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ からなる発光層部は、単結晶基板としてオフアングルを有さないものを使用したとき、III族原子 (Al, Ga, In) の規則化や分布の偏りにより、バンドギャップエネルギーが小さくなる側にシフトしやすく、結果として発光波長が短波長側にばらつきやすくなる問題がある。例えば、これを解消するためにはバンドギャップエネルギーの高いAlPの混晶比を大きくして、発光波長のずれを補償する方法が考えられる。しかし、AlPの混晶比を高めることは、間接遷移成分が増える方向にバンド構造が変化するので、発光強度の低下を招く場合がある。従って、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ などの2種以上のIII族元素を含む混晶化合物半導体により発光層部を構成する場合、オフアングルを有する単結晶基板を使用すれば、発光光束のスペクトルプロファイルや中心波長のバラツキが効果的に抑制された発光層部を容易に得ることができる。その理由は、適度なオフアングルを単結晶基板に付与しておくことで、上記のようなIII族元素の規則化や偏りが大幅に軽減されるためであると考えられる。

【0042】

また、MOVPE法により成長した混晶発光層部の上に、III-V族化合物半導体よりなる電流拡散層をHVPE法により形成すると、MOVPE法やLPE (Liquid Phase Epitaxy) 法により電流拡散層を形成する場合と異なり、最終的に得られる電流拡散層の表面に、単結晶基板のオフアングルに由来したファセットや面荒れがほとんど生じず、ひいては平滑性の良好な電流拡散層が得られる。そして、電流拡散層の表面が平滑化されると、電流拡散層上に形成される電極との密着性も良好となる。また、その電極にワイヤを、画像処理を用いて自動ボンディングする際に、面荒れによる画像の誤検出が軽減され、ひいてはワイヤボンディング工程での能率向上や、歩留まり改善にも寄与する。

【0043】

$(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ にて発光層部を構成する場合、単結晶基

板は、 $\langle 100 \rangle$ 方向又は $\langle 111 \rangle$ 方向を基準方向として、該基準方向に対するオフアングルが 1° 以上 25° 以下の主軸を有するGaAs単結晶基板とすることができる。オフアングルが 1° 未満では既に説明した発光特性（発光スペクトルプロファイルや中心波長）のバラツキ抑制効果に乏しくなり、 25° を超えると発光層部の正常な成長が不能となる場合がある。該効果は、特に $\langle 100 \rangle$ 方向を基準方向としてオフアングルが上記の主軸を有するGaAs単結晶基板を用いた場合に、特に顕著である。

【0044】

単結晶基板は、オフアングルが 10° 以上 20° 以下の主軸を有するGaAs単結晶基板とすることがより望ましい。このような高角度のオフアングルを有するGaAs単結晶を用いると、HVPEによる第二の気相成長工程にて最終的に得られる電流拡散層の表面を平滑化する効果が一層高められる。本発明者らが検討したところ、オフアングルの 1° 以上 10° 未満の単結晶基板を用いると、HVPEにて得られる電流拡散層の表面においては、ファセット的な振幅の小さい一様な凹凸の形成は効果的に防止されるものの、振幅の大きな突起状の結晶欠陥が残留することがあり、ワイヤボンディング工程等における誤検出等の不具合を招くこともあった。しかし、オフアングルを 10° 以上 20° 以下の範囲に大きくすると、こうした突起状の結晶欠陥発生を効果的に抑制できる。

【0045】

また、突起状の結晶欠陥発生防止も含め、平滑で良好な表面状態の電流拡散層を得るには、HVPE法による電流拡散層の成長温度を適正化することも、工程上考慮すべき重要なポイントである。単結晶基板のオフアングルを 10° 以上 20° 以下の範囲に設定すると、そのような電流拡散層の適正な成長温度範囲を低温側に引き下げることができるのも、重要な効果の一つである。電流拡散層の成長温度を低温化できれば、該電流拡散層の下地をなす発光層部に加わる、電流拡散層成長時の熱履歴を和らげることができ、発光層部のp-n接合をなすドーパントプロファイルの拡散劣化が生じにくい。特にダブルヘテロ構造の発光層部の場合は、発光再結合の効率を高めるため、活性層のドーパント濃度はなるべく低くしたい要請がある。従って、電流拡散層の成長温度の低温化により、クラッド

層側から活性層側へのドーパント拡散を抑制することにより、発光素子の内部量子効率を高めることができ、発光性能を大幅に改善することができる。また、成長温度の低減により、上記ドーパントプロファイルを良好に維持したまま電流拡散層の層厚を増やすことができるので、該電流拡散層を特に $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上に厚膜化したときの発光強度の向上効果がとりわけ著しくなる利点もある。

【 0 0 4 6 】

オフアングルが 10° 未満となるか、又はオフアングルが 20° を超えると、突起状の結晶欠陥発生防止効果及び電流拡散層の適正成長温度の低温化効果が不十分となる場合がある。オフアングルはより望ましくは 13° 以上 17° 以下に設定するのがよい。

【 0 0 4 7 】

この場合、第二の気相成長工程において、 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) からなる上記の電流拡散層をハイドライド気相成長法により成長する場合、該成長温度を 640°C 以上 750°C 以下の温度に設定することが望ましい。成長温度が 640°C 未満では電流拡散層の表面の平滑化効果、特に突起状の結晶欠陥の発生抑制効果が十分に得られなくなる。また、 750°C より高温では、発光層部のドーパントプロファイルの拡散劣化防止効果が十分に達成できなくなる。なお、上記成長温度は、より望ましくは 680°C 以上 720°C 以下（特にオフアングルが 13° 以上 17° 以下の場合）に設定するのがよい。また、このような温度設定により、電流拡散層を $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上 ($200\text{ }\mu\text{m}$ 以下) に厚膜化させたときの、発光強度向上効果が特に著しくなる。

【 0 0 4 8 】

次に、本発明の発光素子の第二の構成は、

単結晶基板上へのエピタキシャル成長により形成した、それぞれ III-V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層と、発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極とを有する発光素子において、

発光層部は、2 種以上の III 族元素を含む $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成される n 型クラッド層、活性層及び p 型クラッド層が、電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造

を有し、かつ、 n 型クラッド層が Si 、 S 、 Se および Te の 1 種または 2 種以上をドーパントとする n 型 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ にて構成され、

電流拡散層は、ドーパントを Si 、 S 、 Se および Te の 1 種または 2 種以上とし、かつ、前記発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい n 型 $GaAs_{1-a}P_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成され、さらに、

電流拡散層中の C 濃度が、前記 n 型クラッド層の C 濃度よりも小さくされてなることを特徴とする。

【0049】

$(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ のダブルヘテロ構造を用いて発光層部を構成した発光素子において、本発明のように n 型クラッド層側を光取出し側として、ここに電流拡散層を設ける場合、この電流拡散層は、従来 MOVPE 法にて形成されていたため H や C の残留量が多く、残留した C が p 型ドーパントとして寄与した分を補償するために、 n 型クラッド層よりも n 型ドーパントの含有濃度を相当高く設定していた。そして、この過剰なドーパント添加により、素子ライフが短くなる不具合を生ずることは、既に説明した通りである。

【0050】

上記本発明の発光素子の第二の構成においては、電流拡散層を、ドーパントを Si 、 S 、 Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型 $GaAs_{1-a}P_a$ ($0 \leq a \leq 1$) 層として形成するとともに、電流拡散層中の C 濃度を、 n 型クラッド層の C 濃度よりも小さく設定する。このような C 濃度の大小関係は、電流拡散層を HVPE 法により成長することで容易に実現できる。その結果、電流拡散層中の Si 、 S 、 Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントの含有濃度を n 型クラッド層のものより低く設定しても、 p 型ドーパントとして振舞う C の量が少ないので、十分な導電性を確保することができる。そして、電流拡散層中の n 型ドーパントの含有濃度を低くできる結果、素子ライフの向上を図ることができる。

【0051】

発光層部を上記のように $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ (ただし、 $0 \leq$

$x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) にて構成する場合、電流拡散層を n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$: 発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい) 層とし、かつ該電流拡散層の発光層部と接する部分を有機金属気相成長法による MO 層部として形成し、それ以外の部分をハイドライド気相成長法による HVPE 層部として形成すればよい。発光層部をなす $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ と、電流拡散層をなす n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a \leq 1$) とは、格子定数の開きが大きくなりやすいが、前述のように、電流拡散層の発光層部と接する部分をまず有機金属気相成長法により形成し、 HVPE 法により電流拡散層の残余部分を形成すれば、電流拡散層の結晶性が向上する。

【 0 0 5 2 】

本発明の発光素子の第一においては、電流拡散層のハイドライド気相成長法により形成された部分の C 濃度を $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下とすることができる。また、電流拡散層と、発光層部の該電流拡散層と接する部分とが、格子定数の互いに異なる III-V 族化合物半導体にて構成され、電流拡散層は、発光層部と接する部分が有機金属気相成長法による MO 層部として形成され、それ以外の部分がハイドライド気相成長法による HVPE 層部として形成されたものとすることができる。

【 0 0 5 3 】

本発明の発光素子の第二は、電流拡散層の発光層部と接する部分が有機金属気相成長法による MO 層部として形成され、それ以外の部分がハイドライド気相成長法による HVPE 層部として形成されたものとすることができる。

【 0 0 5 4 】

また、本発明の発光素子の第一及び第二は、電流拡散層の形成厚さを $5 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 以下とすることができる。電流拡散層の電極を形成する側の主表面を含む表層部には、 Si 、 S 、 Se および Te の 1 種または 2 種以上とされるドーパントのキャリア濃度が電流拡散層内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層を形成することができる。電流拡散層は、ドーパントを Si 、 S 、 Se および Te の 1 種または 2 種以上とした n 型半導体層として形成することがで

き、ドーパントのキャリア濃度を、高濃度ドーピング層において $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、残余の部分において $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下とすることができる。さらに、電流拡散層において、電極形成側部分を、それ以外の部分よりも GaAs 混晶比 $1-a$ が大きい高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ ($0 \leq a < 1$) 層とし、当該高 GaAs 混晶比 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ 層に、ドーパントを Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とする高濃度ドーピング層を形成することができる。

【0055】

また、発光層部及び電流拡散層のエピタキシャル成長に使用する単結晶基板は、敢えて除去せず素子内に残した構造としてもよいし、GaAs 等の光吸収性の基板である場合は、発光層部及び電流拡散層のエピタキシャル成長後に該単結晶基板を除去した構造としてもよい。単結晶基板を除去しない場合の本発明の発光素子の製造方法は以下の通りである：

単結晶基板上に、それぞれ III-V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層と、発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極とを、この順序で形成した発光素子の製造方法において、

単結晶基板上に発光層部を有機金属気相成長法により形成する第一の気相成長工程と、

該第一の気相成長工程の後に、有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法により、電流拡散層を n 型半導体層として形成する第二の気相成長工程と

を有することを特徴とする。

【0056】

同じく本発明の発光素子の第一の構成は以下の通りである：

単結晶基板上に、それぞれ III-V 族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層とを形成した発光素子において、

単結晶基板上に、発光層部が有機金属気相成長法により形成されてなり、

該発光層部の上に、電流拡散層が前記有機金属気相成長法とは異なるハイドライド気相成長法を用いて n 型半導体層として形成されてなることを特徴とする。

【0057】

また、第二の構成は以下の通りである：

単結晶基板上に、それぞれⅢⅢⅢ－Ⅴ族化合物半導体からなる発光層部と電流拡散層と、発光層部に発光駆動電圧を印加するための電極とをこの順序で形成した発光素子において、

発光層部は、2種以上のⅢⅢⅢ族元素を含む $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 < y \leq 1$ ）にて構成されるn型クラッド層、活性層及びp型クラッド層が、電極側からこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有し、かつ、n型クラッド層がSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上をドーパントとするn型 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ にて構成され、

電流拡散層は、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とし、かつ、発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きいn型 $GaAs_{1-a}P_a$ （ $0 \leq a \leq 1$ ）層として形成され、さらに、

電流拡散層中のC濃度が、n型クラッド層のC濃度よりも小さくされてなることを特徴とする。

【0058】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を添付の図面を参照して説明する。

図1は、本発明の一実施形態である発光素子100を示す概念図である。発光素子100は、p型GaAs単結晶基板（以下、単に基板という）1の第一主表面上に素子本体部が形成されている。この基板1の第一主表面MP1と接するようにp型GaAsバッファ層2が形成され、該バッファ層2上に発光層部24が形成される。そして、その発光層部24の上に電流拡散層7が形成され、その電流拡散層7の上に、発光層部24に発光駆動電圧を印加するための第一電極9が形成されている。また、基板1の第二主表面MP2側には、同じく第二電極20が全面に形成されている。第一電極9は、第一主表面PFの略中央に形成され、該第一電極9の周囲の領域が発光層部24からの光取出領域とされている。また、第一電極9の中央部に電極ワイヤ17を接合するためのAu等にて構成された

ボンディングパッド16が配置されている。

【0059】

発光層部24は、ノンドープ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ (ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$, $0.45 \leq y \leq 0.55$) 混晶からなる活性層5を、n型 $(Al_zGa_{1-z})_yIn_{1-y}P$ (ただし $x < z \leq 1$) からなるn型クラッド層6とp型 $(Al_zGa_{1-z})_yIn_{1-y}P$ (ただし $x < z \leq 1$) からなるp型クラッド層4とにより挟んだ構造を有する。また、第一電極9側にn型AlGaInPクラッド層6が配置されており、第二電極20側にp型AlGaInPクラッド層4が配置されている。従って、通電極性は第一電極9側が負である。なお、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行なわない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有（例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする）をも排除するものではない。

【0060】

電流拡散層7は、ドーパントをSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上としたn型GaP層として形成されている。また、電流拡散層7中のCの含有濃度及び、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型ドーパントの含有濃度は、それぞれ、n型クラッド層6の含有濃度よりも小さくされる。さらに、電流拡散層7には、第一電極9に対応する位置に、p型 $Al_dGa_{1-d}P$ (例えば $d = 0.2$) よりなる電流阻止層10が埋設形成されている。電流拡散層7の形成厚さt1は、例えば $5 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 以下（一例として、 $10 \mu\text{m}$ ）である。また、電流阻止層10の厚さは $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $1 \mu\text{m}$ 以下（例えば $0.1 \mu\text{m}$ ）である。

【0061】

電流拡散層7の第一電極9を形成する側の主表面を含む表層部には、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型ドーパントの含有濃度が電流拡散層7内の残余の部分よりも高くされた、高濃度ドーピング層8が形成されている。電流拡散層7のSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型ドーパントのキャリア濃度は、高濃度ドーピング層8において 1×10^{17}

$8 / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下（例えば、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ）であり、高濃度ドーピング層 8 以外の部分において $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下（例えば、 $8 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ）とされている。

【0062】

高濃度ドーピング層 8 の厚さ t_2 は $1 \mu\text{m}$ 以上 $4 \mu\text{m}$ 以下（例えば $3 \mu\text{m}$ ）である。高濃度ドーピング層 8 の厚さ t_2 は、ドーパントが最も高濃度となる電流拡散層表層部の n 型ドーパント含有濃度を N_{max} とし、他方、電流拡散層 7 の拡散の影響を受けていない部分での n 型ドーパント含有濃度を N_{min} としたとき、層厚方向において略 $(N_{\text{max}} + N_{\text{min}}) / 2$ となる位置を、高濃度ドーピング層 8 と残余の部分との境界位置として定めることにより特定される。なお、各層中のドーパント含有濃度及び C 濃度は、二次イオン質量分析法 (Secondary Ion Mass Spectrometry: SIMS) により測定されたものをいう。また、キャリア濃度は周知の導電率測定により特定可能である。

【0063】

電流拡散層 7 のうち、n 型クラッド層 6 と電流阻止層 10 との間に位置する部分は、MOVPE 法により形成された第一層 7a である。また、電流阻止層 10 に関して第一層 7a の反対側には、該第一層 7a とともに電流阻止層 10 をくるむように覆う形で、電流拡散層 7 の要部をなす第三層 7b が形成されている。この第三層 7b は、後述する HVPE 法により形成されたものであり、第一電極 9 側の表層部が Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントにより前述の高濃度ドーピング層 8 とされている。

【0064】

電流拡散層 7 中の C 濃度は、HVPE 法の採用により、MOVPE 法による n 型クラッド層 6 の C 濃度（通常、 $1.5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度）よりも小さく設定できる。具体的には、電流拡散層のハイドライド気相成長法により形成された部分の C 濃度を $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下とすることができる。本実施形態では、電流拡散層 7 のうち第一層 7a だけは MOVPE 法により形成され、この部分の C 濃度は多少高くなる。しかし、第三層 7b の C 濃度は $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下であり、通常、 2×10^{17} 以下である。第一層 7a の厚さは第三層 7b の

厚さよりもはるかに小さいので、いずれにしても、電流拡散層 7 中の C 濃度は p 型クラッド層 6 の C 濃度よりも十分に低い値となる。そして、電流拡散層 7 の要部をなす第三層 7 b のうち、高濃度ドーピング層 8 を除いた部分は、Si、S、Se および Te の 1 種または 2 種以上とされる n 型ドーパントの含有濃度を n 型クラッド層 6 の含有濃度よりも低く設定しても、p 型ドーパントとして振舞う C の量が少ないので、十分な導電性を確保することができる。その結果、素子ライフの向上を図ることができる。

【 0 0 6 5 】

また、電流拡散層 7 は、面内方向の電流拡散が主に高濃度ドーピング層 8 にて進む。そして、電流拡散層 7 における高濃度ドーピング層 8 以外の内層部分は、ドーパントによるキャリア濃度が低く面内方向の抵抗率が高いので、電流は該内層部分に入ると面内方向への再拡散が生じにくく、電極 9 の外側領域に迂回しつつ流れやすくなる。その結果、光取出し効率が向上する。

【 0 0 6 6 】

なお、本実施形態では、第一層 7 a と第三層 7 b とを同じ化合物半導体（具体的には GaP）により形成しているが、互いに異なる化合物半導体にて形成することもできる（例えば、第一層 7 a を n 型 $\text{GaAs}_{1-a}\text{P}_a$ （発光層部のピーク発光波長に対応した光エネルギーよりもバンドギャップエネルギーの大きい）とし、第三層 7 b を n 型 GaP とする）。また、第一層 7 a と第三層 7 b とはいずれも n 型ドーパントが添加される。この n 型ドーパントの種類を、第一層 7 a と第三層 7 b とで異なるものとしてもよい。

【 0 0 6 7 】

以下、図 1 の発光素子 100 の製造方法について説明する。

まず、図 2 の工程①に示すように、p 型 GaAs 単結晶基板 1 を用意する。そして、工程②に示すように、その基板 1 の第一主表面 MP1 に、p 型 GaAs バッファ層 2 を例えば $0.5\mu\text{m}$ 、次いで、発光層部 24 として、各々 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ よりなる、 $1\mu\text{m}$ の p 型クラッド層 4（p 型ドーパントは Zn や Mg：有機金属分子からの C も p 型ドーパントとして寄与しうる）、 $0.6\mu\text{m}$ の活性層（ノンドープ）5、及び $1\mu\text{m}$ の n 型クラッド層 6（n 型ド

ーバントはSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上)を、この順序にてエピタキシャル成長させる(第一の気相成長工程)。これら各層のエピタキシャル成長は、公知のMOVPE法により行なわれる。Al、Ga(ガリウム)、In(インジウム)、P(リン)の各成分源となる原料ガスとしては以下のようなものを使用できる；

- ・ Al源ガス；トリメチルアルミニウム(TMA1)、トリエチルアルミニウム(TEA1)など；
- ・ Ga源ガス；トリメチルガリウム(TMGa)、トリエチルガリウム(TEGa)など；
- ・ In源ガス；トリメチルインジウム(TMI_n)、トリエチルインジウム(TEI_n)など。
- ・ P源ガス；トリメチルリン(TMP)、トリエチルリン(TEP)、ホスフィン(PH₃)など。

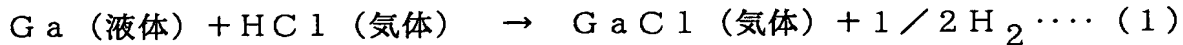
【0068】

次に、図3の工程③では、上記第一の気相成長工程の反応容器内にて引き続き、すでに形成された発光層部24の上に、n型GaPからなる第一層7a(MO層部である)と、電流阻止層をなすp型Al_dGa_{1-d}P(例えばd=0.2)からなる第二層10'とをMOVPE法により順次形成する。次に、第二層10'の、電流阻止層10として残す部分の表面を、フォトレジスト層30にて覆う。そして、工程④に進み、塩酸からなる第一のエッチング液によりエッチングすると、第二層10'の、フォトレジスト層30にて覆われなかった部分が選択的にエッチングされる。エッチングが終了したら、洗浄後、フォトレジスト層30を除去する。

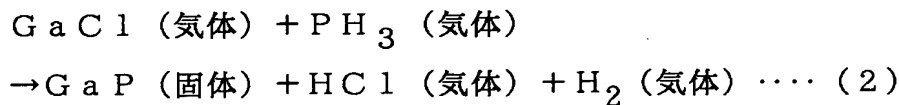
【0069】

図4の工程⑤に進み、n型GaPよりなる第三層7b(HVPE層部である)を、HVPE法により、電流阻止層10をくるむように成長させる(第二の気相成長工程)。HVPE法は、具体的には、容器内にてIII族元素であるGaを所定の温度に加熱保持しながら、そのGa上に塩化水素を導入することにより、下記(1)式の反応によりGaClを生成させ、キャリアガスであるH₂ガスと

ともに基板上に供給する。



GaPの場合、成長温度は例えば640℃以上860℃以下に設定する。また、V族元素であるPは、PH₃をキャリアガスであるH₂とともに基板上に供給する。さらに、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型ドーパントは、それぞれSiH₄、H₂S、H₂Se、DETeの形で供給する。GaClはPH₃との反応性に優れ、下記(2)式の反応により、Gaとの間で効率よく、電流拡散層7の要部をなす第三層7bを成長させることができる：



【0070】

なお、基板1は、＜100＞方向を基準方向として、該基準方向に対するオフアングルが1°以上25°以下の主軸Aを有するものとすることができる（主軸Aは、＜111＞方向を基準として同様のオフアングルを有するものであってもよい）。特に、オフアングルが10°以上20°以下（望ましくは13°以上17°以下）の主軸を有するGaAs単結晶基板を用いると、電流拡散層7の表面への振幅の大きな突起状の結晶欠陥の形成抑制に効果があり、また、平滑な表面状態を得るための、HVPE法による電流拡散層7の適正な成長温度を、640℃以上750℃以下（より望ましくは680℃以上720℃以下）に下げることができ、n型クラッド層6及びp型クラッド層4から活性層5へのドーパント拡散を抑制することができ、ひいては発光層部24のドーパントプロファイルの拡散劣化を抑制することができる。

【0071】

上記第三層7bの成長が終了したら工程⑥に進み、Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上とされるn型ドーパントが高濃度に添加された高濃度ドーピング層8を形成する。

【0072】

以上の工程が終了すれば、真空蒸着法により第一電極9及び第二電極20を形成し、さらに第一電極9上にボンディングパッド16を配置して、適当な温度で

電極定着用のベーキングを施す。そして、第二電極20をAgペースト等の導電性ペーストを用いて支持体を兼ねた図示しない端子電極に固着する一方、ボンディングパッド16と別の端子電極とにまたがる形態でAu製のワイヤ17をボンディングし、さらに樹脂モールドを形成することにより、発光素子100が得られる。なお、ワイヤ17のボンディングは、カメラにより素子の第一表面を画像撮影し、周知の画像処理方法によりボンディングパッド16領域を識別して、自動ボンディング装置にて行なう。

【0073】

以下、発光素子100の種々の変形例について説明する（図1の発光素子100と同一構成部分には同一の符号を付与して詳細は省略し、相違点のみ説明する）。図5の発光素子200は、電流阻止層10を、電流拡散層7をなす第一層7a及び第三層7bと同じGaAsP（ただし、導電型はp型）にて構成した例である。この場合は、図3の工程が、図6のように変更される。すなわち、工程⑦に示すように、GaPからなる第四層11'をエッチストップ層として形成し、工程⑧に示すように、電流阻止層10となるGaAs_{1-a}P_a（0.5 ≤ a ≤ 0.9）からなる第二層10'を、例えば硫酸－過酸化水素水混合液を用いて選択エッチングする。さらに工程⑨においては、電流阻止層10の周囲に露出している第四層11'をエッチング除去する。電流阻止層10の下側の第四層11は残留する。以降の工程は、図4と同じである。

【0074】

電流拡散層をGaAs_{1-a}P_a（0.5 ≤ a ≤ 0.9）、電流阻止層をAl_dGa_{1-d}P（例えばd = 0.2）にて構成する場合、HVPE法によるGaAs_{1-a}P_a層（第三層7b）の形成が、前記（2）式において、PH₃とともにAsH₃が併用され、成長温度が、640℃以上830℃以下とやや低めに設定される。

【0075】

GaAs_{1-a}P_aより電流拡散層を構成することで、上記のようにHVPE法により成長する際の成長温度が低い。従って、発光層部側に、n型のGaAs_{1-a}P_aからなる電流拡散層をHVPE法により成長する際に、そのn型ドー

パント（Si、S、SeおよびTeの1種または2種以上）が発光層部側に過度に拡散したり、あるいは発光層部24に含まれるn型クラッド層6内のn型ドーパントが活性層5内に拡散したりして、発光性能を低下させたりする不具合が、より生じにくい。

【0076】

電流拡散層7を上記のようにGaAsPにて構成する場合、従来のLPE法を採用した場合は、ロット内あるいはロット間での組成のバラツキを生じやすい問題があったが、本発明のようにHVPE法を採用すると、このような組成のバラツキがLPE法よりもはるかに生じにくくなる利点がある。

【0077】

なお、図7の発光素子300のように、第四層11'の厚さが1nm以上50nm以下の小さな値とされていれば、電流阻止層（第二層）10の外側に露出している第四層11'をエッチングせずに第三層7bを形成することができる。この場合、電流阻止層10の外側においても、第一層7aと第三層7bとの間には第四層11'が介在形成された構造となる。第四層11'を上記のように極薄く形成することで、バンド不連続等の影響も小さくなり、発光層部24への通電も支障なく行なうことができる。当然、第四層11'のエッチングを省略できるので、工程も簡便である。

【0078】

また、図8の発光素子400は、電流阻止層を省略した構成を示している。この場合も、まず電流拡散層7の発光層部24と接する部分7pをMOVPE法によるMO層部として形成し、電流拡散層7のそれ以外の部分をHVPE法によるHVPE層部として形成するとよい。

【0079】

さらに、図9の発光素子500は、電流拡散層7の要部をn型GaPにより形成し、電流拡散層7の電極形成側部分のみn型GaAsP層7sとして形成するとともに、そのGaAsP層7s内にSi、S、SeおよびTeの1種または2種以上をドーパントとする高濃度ドーピング層8を形成した例である。HVPE法によると、電流拡散層7の成長途中で組成を変更すること（この場合、Ga

P→GaAsP)が、V族元素ガス(AsH₃及びPH₃)の配合比率の変更により、容易に行なうことができる。

【0080】

以上のすべての実施形態においては、活性層5は上記実施形態では単一層として形成していたが、これを、バンドギャップエネルギーの異なる複数の化合物半導体層が積層されたもの、具体的には、量子井戸構造を有するものとして構成することもできる。量子井戸構造を有する活性層は、混晶比の調整によりバンドギャップが互いに相違する2層、すなわちバンドギャップエネルギーの小さい井戸層と大きい障壁層とを、各々電子の平均自由工程もしくはそれ以下の厚さ（一般に、1原子層～数nm）となるように格子整合させる形で積層したものである。上記構造では、井戸層の電子（あるいはホール）のエネルギーが量子化されるため、例えば半導体レーザー等に適用した場合に、発振波長をエネルギー井戸層の幅や深さにより自由に調整でき、また、発振波長の安定化、発光効率の向上、さらには発振しきい電流密度の低減などに効果がある。さらに、井戸層と障壁層とは厚さが非常に小さいため、2～3%程度までであれば格子定数のずれが許容され、発振波長領域の拡大も容易である。なお、量子井戸構造は、井戸層を複数有する多重量子井戸構造としてもよいし、井戸層を1層のみ有する単一量子井戸構造としてもいづれでもよい。なお、障壁層の厚さは、例えばクラッド層と接するもののみ50nm程度とし、他は6nm程度とすることができる。また、井戸層は5nm程度とすることができる。

【0081】

また、基板1の上に発光層部24をバッファ層2を介して直接形成していたが、基板1と発光層部24との間に、光取出し効率を向上させるために反射層を介挿してもよい。反射層としては、例えば、特開平7-66455号公報に開示されているような、屈折率の相違する半導体膜を複数積層したものを利用することができる。

【0082】

また、図11の発光素子600は、図1の発光素子100のGaAs単結晶基板1をエッチング等により除去し、代わって反射用の金属層102（例えばAu

層あるいはA g層である)を介して、導電性基板であるS i基板(A l等の金属板でもよい)を貼り合わせたものである。金属層102と発光層部24との間には、両者の接合抵抗を低減するためのコンタクト層102c(本実施形態ではA u G e N i層とされている)が分散形成されている。コンタクト層102cの非形成領域では、金属層102による反射効果が特に高い。また、図12の発光素子700は、図1の発光素子100のG a A s単結晶基板1をエッチング等により除去し、代わって透明導電性基板であるG a P基板103(本実施形態ではp型)を貼り合わせたものである。G a P基板103の側面103Sからの光取出が可能である。本実施形態では、G a P基板103の裏面にコンタクト層120cが分散形成され、該コンタクト層120cの非形成領域とともに、発光層部24に発光駆動電圧を印加するための電極120(例えばA u電極)により覆われている(電極120に換えてA gペースト層を形成してもよい)。図11及び図12のいずれの発光素子600, 700においても、電流拡散層7はG a A s Pにて構成することもできる。

【0083】

図13の発光素子800は、素子基板を兼用した厚膜の電流拡散層90を、発光層部24(p型クラッド層4、活性層5及びn型クラッド層6の積層順は、図1と逆である)の裏面側に成長させた例を示すものである。ここでは、電流拡散層90を、HVPE法によるn型G a Pのエピタキシャル成長層としており、その厚さt bは50 μ m以上200 μ m以下(例えば100 μ m)である。G a Pは発光層部24からの発光光束に対して透明であり、その側面90sからも光取出が可能となる。本実施形態においては、発光層部24の該光取出面側(p型クラッド層4側)に透光性を有するコンタクト用導電層91が設けられ、電極9及びボンディングパッド16が該コンタクト用導電層91上に設けられている。このコンタクト用導電層91は、例えばG a P、G a A s P、A l G a A s、A l G a I n Pなどで構成できるが、導電性酸化物で構成してもよい。

【0084】

図13の発光素子800を製造する場合、図2の工程②を実施した後、発光層部24のG a A s基板1と反対側(n型クラッド層6側)の主表面上に、HVPE

E法により電流拡散層90を直接厚膜成長させる。その後、GaAs基板1を除去し、その除去された側（p型クラッド層4側）の発光層部24の主表面に、コンタクト用導電層91を、HVPE法によりエピタキシャル成長することができる（例えば、コンタクト用導電層91をGaP、GaAsPで構成する場合）。他方、コンタクト用導電層91をAlGaAsあるいはAlGaInP等で構成する場合のように、GaAs基板1上にコンタクト用導電層91をMOVPE法で成長しておき、さらに発光層部24を成長した後、GaAs基板1を除去するようにしてもよい。なお、AlGaInPにてコンタクト用導電層91を形成する場合、発光層部側のクラッド層（図13ではp型クラッド層4）をなすAlGaInPと同じ混晶比としてもよいし、異なる混晶比としてもよい。同じ混晶比とする場合、クラッド層よりもドーパント濃度を高め、導電性を高めておくことが望ましい。また、異なる混晶比とする場合は、発光層部24の活性層5よりもバンドギャップが大きくなる混晶比を採用することが、透光性を高める観点において望ましい。

【0085】

なお、図12の発光素子700及び図13の発光素子800においては、GaP基板103ないし電流拡散層90の裏面には、コンタクト層120c（図12では、p型GaP基板103と接するAuBe層であり、図13では、n型GaPからなる電流拡散層90と接するAuGeNi層である）が分散形成されている。本実施形態では、このコンタクト層120cが、コンタクト層120cの非形成領域とともに、発光層部24に発光駆動電圧を印加するための電極120（例えばAu電極）により覆われている（電極120に換えてAgペースト層を形成してもよい）。これにより、コンタクト層120cの非形成領域では、電極120による反射効果を高めることができる。

【0086】

以下、高角度のオフアングルを有する単結晶基板を用いたときの効果を確認するために、次の実験を行なった。まず、図1の発光素子を製造するためのダイシング前の基板を、各層が以下の厚さとなるように形成した。なお、使用したGaAs単結晶基板は、 $\langle 100 \rangle$ 方向を基準方向として、該基準方向に対するオフ

アングルを 2° 以上 20° 以下の範囲で種々に設定したものをを用いている。

- ・ n 型 AlGaInP クラッド層 6 = $1\ \mu\text{m}$ (Si ドーピング濃度: $1 \times 10^{17} \sim 3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$) ;
- ・ AlGaInP 活性層 5 = $0.6\ \mu\text{m}$ (発光波長 $650\ \text{nm}$) (ノンドープ) ;
- ・ p 型 AlGaInP クラッド層 4 = $1\ \mu\text{m}$ (Mg ドーピング濃度: $4 \times 10^{17} \sim 10 \times 10^{17} / \text{cm}^3$) ;
- ・ 電流拡散層 7 : $5 \sim 50\ \mu\text{m}$
- ・ 電流阻止層 10 : $0.1\ \mu\text{m}$ 。

【0087】

なお、HVPE 法による電流拡散層 7 の形成厚さは $5\ \mu\text{m}$ 以上 $50\ \mu\text{m}$ 以下の値にて種々に設定し、成長温度は 640°C 以上 840°C 以下の範囲で種々に設定した。得られた基板は、電流拡散層 7 の表面を光学顕微鏡により観察するとともに、平面外径 $20\ \mu\text{m}$ 以上の粗大な突起状結晶欠陥の、単位面積当たり個数を計数した (判定条件を表下に示している)。該結果を表 1 にまとめて示す。

【0088】

【表 1】

オフアングル (°)	成長温度(°C)				
	840	790	740	690	640
2	◎	○	×	×	×
5	◎	◎	○	△	×
10	◎	◎	◎	○	△
15	◎	◎	◎	◎	△
20	◎	◎	◎	○	△

突起状結晶欠陥個数

◎:3個/cm²未満○:3個/cm²以上 10個/cm²未満△:10個/cm²以上 20個/cm²未満×:20個/cm²以上

【0089】

この結果によると、オフアングルが10°以上20°以下の範囲では、電流拡

散層 7 の成長温度を 7 9 0℃ 以下の比較的低温に設定した場合でも、電流拡散層 7 の表面における突起状結晶欠陥の形成個数を顕著に減少でき、平滑で良好な層表面が得られていることがわかる。特に、オフアングルを、1 3° 以上 1 7° 以下の範囲内の値である 1 5° に設定したとき、電流拡散層 7 の成長温度を 6 9 0℃ ないし 6 4 0℃ まで下げても、突起状結晶欠陥の形成抑制効果はあまり損なわれていないことがわかる。また、図 1 0 は、各オフアングルでの、電流拡散層 7 の表面状態が最適化される下限温度において、種々の厚さに G a P 電流拡散層を H V P E 法により成長したときの、発光層部 2 4 のメサ輝度（特開昭 5 1 - 1 4 4 1 8 5 号公報参照）の測定結果を示すものである。通常、電流拡散層 7 の厚さが大きくなるほど電流の面内拡散効果が高められ、発光層部 2 4 に電流を均一供給できるので、メサ輝度は該電流拡散層 7 の厚さとともに増加する。しかし、電流拡散層の成長厚さがある程度大きくなれば、その成長の熱履歴に発光層部 2 4 が曝される時間が長くなり、ドーパントプロファイルの拡散劣化が進行して、メサ輝度の増加傾向は鈍ることになる。図 1 0 の結果によると、オフアングルを 1 5° に設定した場合、表 1 の結果からも明らかな通り、電流拡散層 7 の表面状態が最適化される下限温度は 6 9 0℃ であり、オフアングルが 2° である場合の 8 4 0℃ よりも 1 5 0℃ も低い。その結果、電流拡散層 7 の厚さに対するメサ輝度の増加率の鈍りが小さく、特に電流拡散層 7 を 2 5 μ m 以上に設定したときのメサ輝度の相対値は、オフアングルが 2° の場合よりも、1 0 ~ 4 0 % 近くも増大していることがわかる。また、図 1 0 には、比較のため、オフアングルが 1 5° で、成長温度を 8 9 0℃ に設定した場合も結果も示しているが、この場合は電流拡散層膜厚に対するメサ輝度の増加率の鈍りが相当大きくなっている。つまり、オフアングルが 1 5° で成長温度を 6 9 0℃ とした場合に良好な結果が得られている要因は、成長温度の低減によりドーパントプロファイルの拡散防止が図られているためであることがわかる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の発光素子の一例を積層構造にて示す模式図。

【図 2】

図 1 の発光素子の製造工程を示す説明図。

【図 3】

図 2 に続く説明図。

【図 4】

図 3 に続く説明図。

【図 5】

図 1 の発光素子の、第一の変形例を示す図。

【図 6】

図 5 の発光素子の製造工程の、図 3 の工程との相違点を抜き出して示す説明図

【図 7】

図 1 の発光素子の、第二の変形例を示す図。

【図 8】

図 1 の発光素子の、第三の変形例を示す図。

【図 9】

図 1 の発光素子の、第四の変形例を示す図。

【図 1 0】

G a A s 単結晶基板のオフアングルを種々の値に設定したときの、メサ輝度と電流拡散層厚さとの関係を測定した実験結果を示すグラフ。

【図 1 1】

図 1 の発光素子の、第五の変形例を示す図。

【図 1 2】

図 1 の発光素子の、第六の変形例を示す図。

【図 1 3】

図 1 の発光素子の、第七の変形例を示す図。

【符号の説明】

- 1 単結晶基板
- 4 p 型クラッド層（第二導電型クラッド層）
- 5 活性層

6 n型クラッド層（第一導電型クラッド層）

7 電流拡散層

7 a 第一層

7 b 第三層

8 高濃度ドーピング層

9 第一電極

1 0 電流阻止層

1 0' 第二層

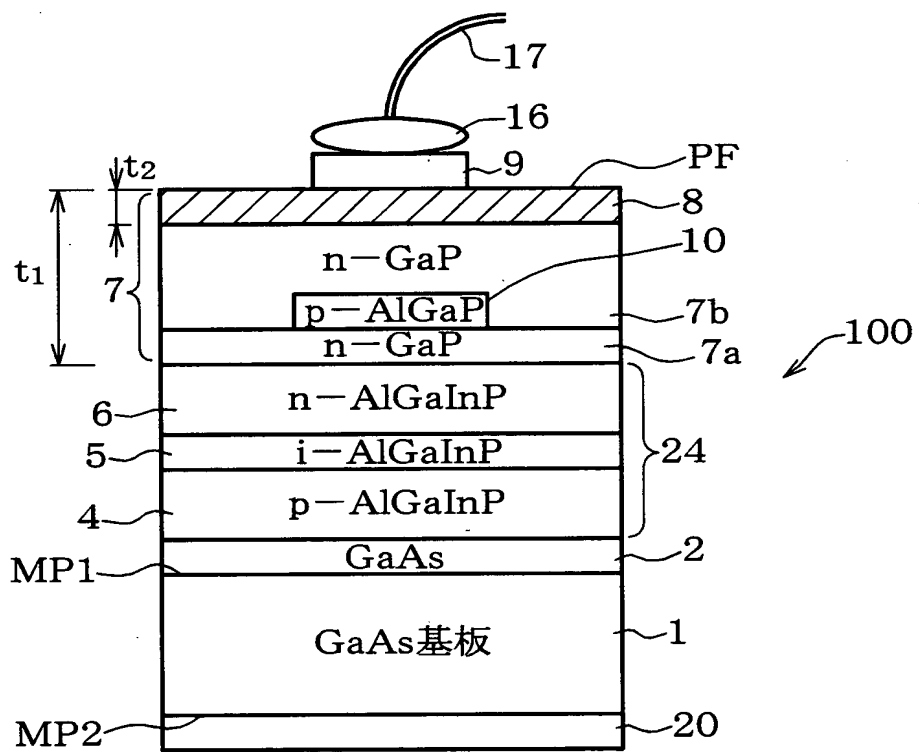
1 1 第四層

2 4 発光層部

1 0 0 発光素子

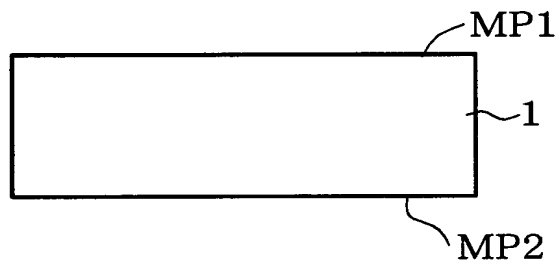
【書類名】 図面

【図 1】

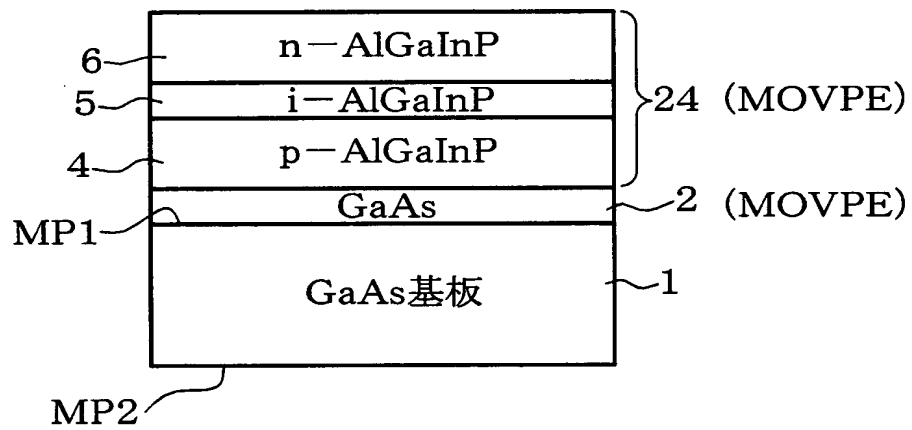


【図 2】

工程①

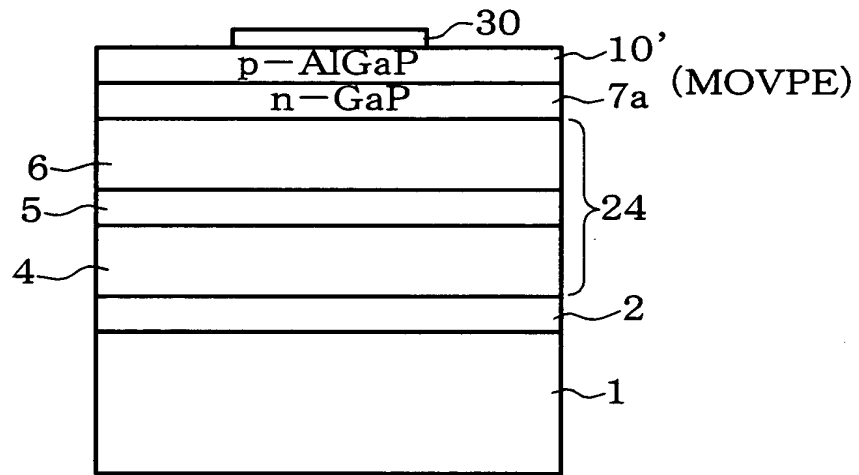


工程②

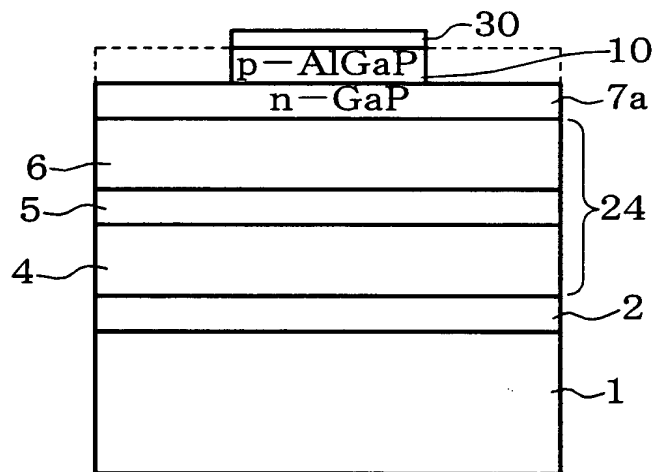


【図 3】

工程③

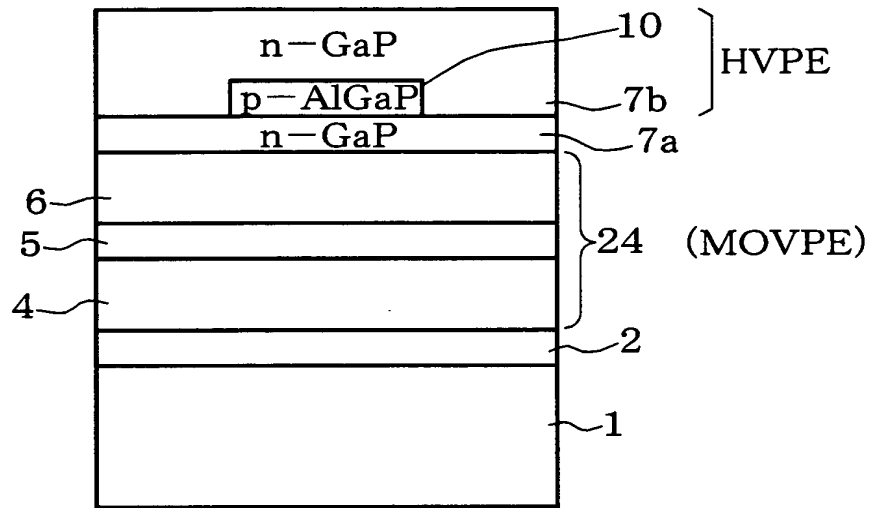


工程④

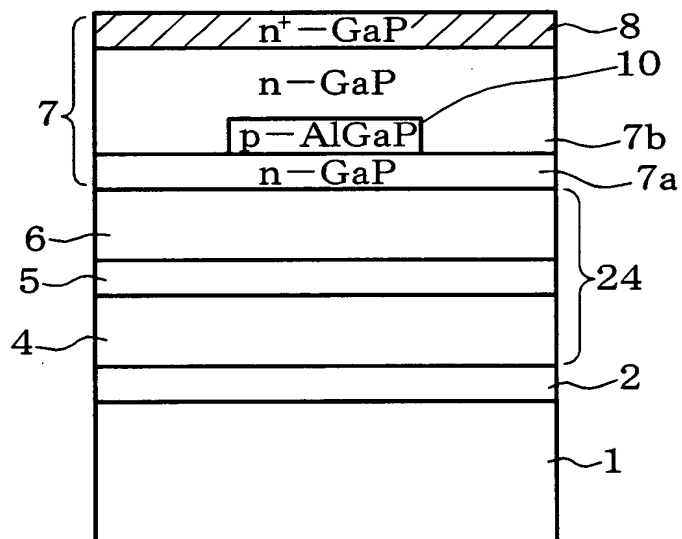


【図4】

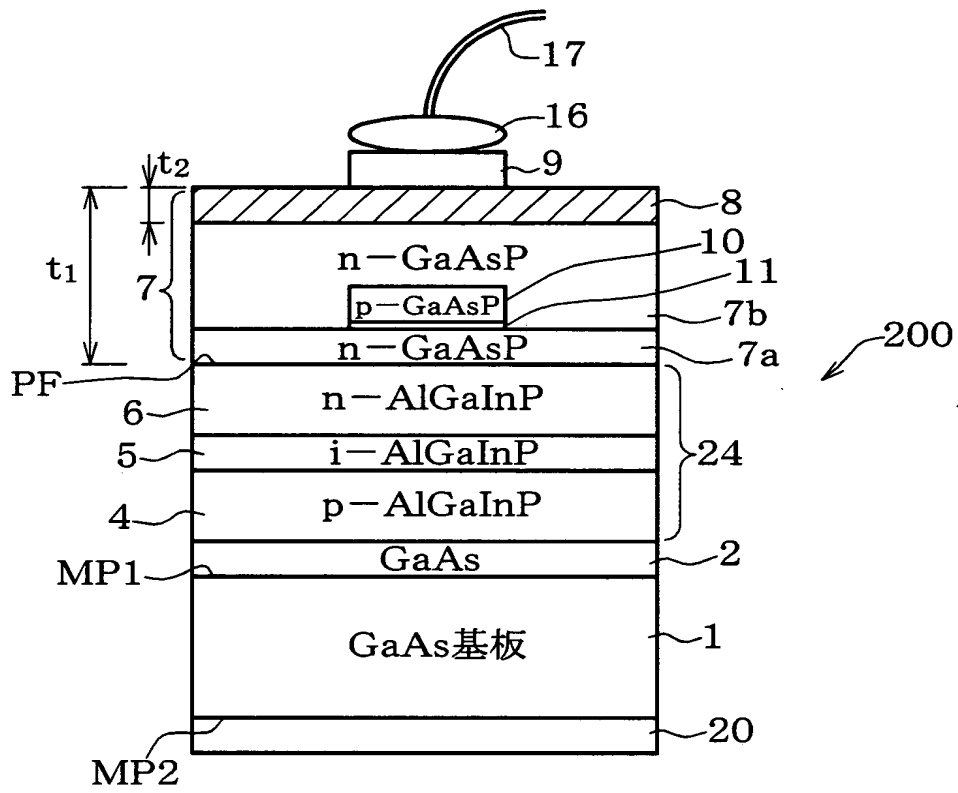
工程⑤



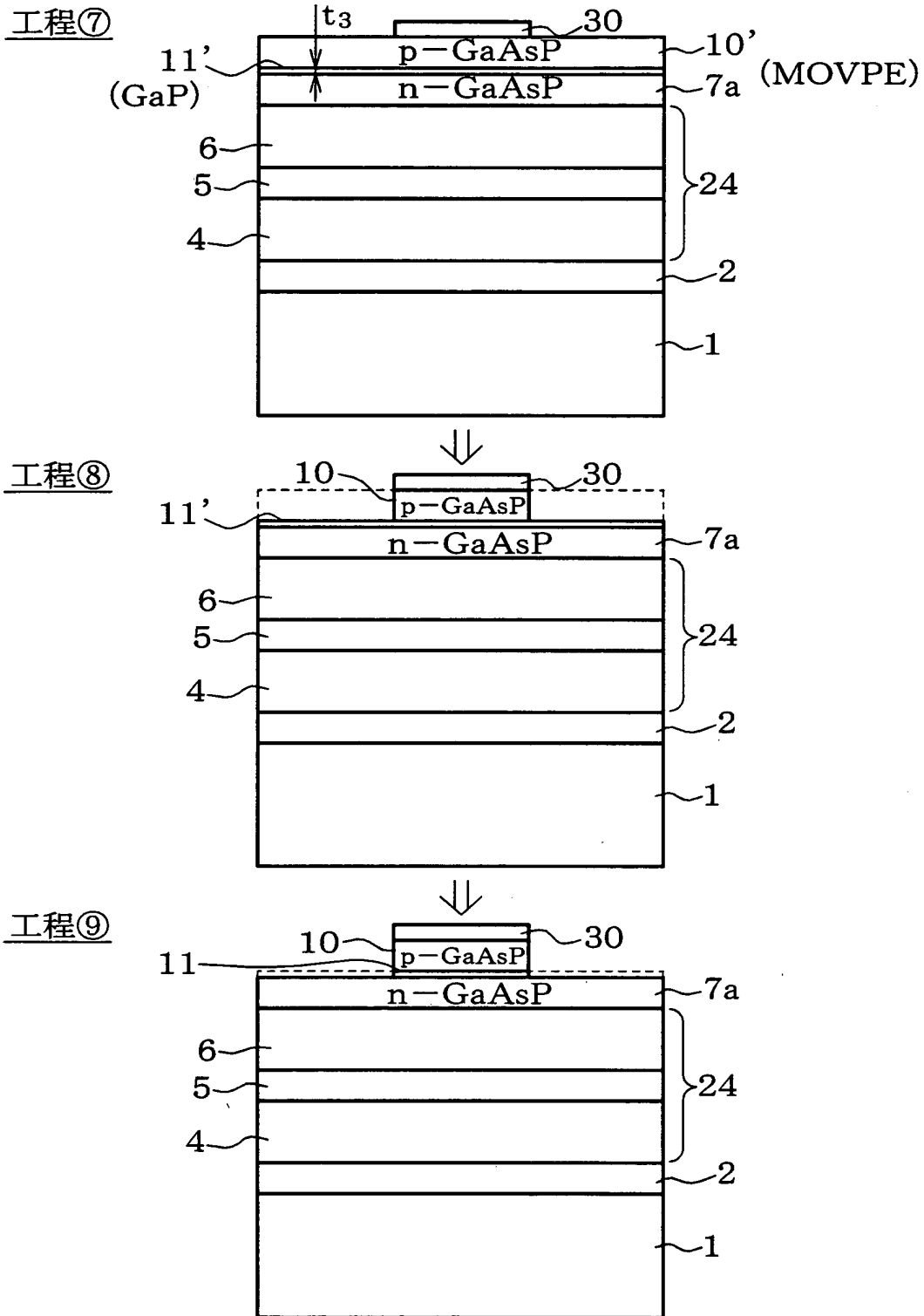
工程⑥



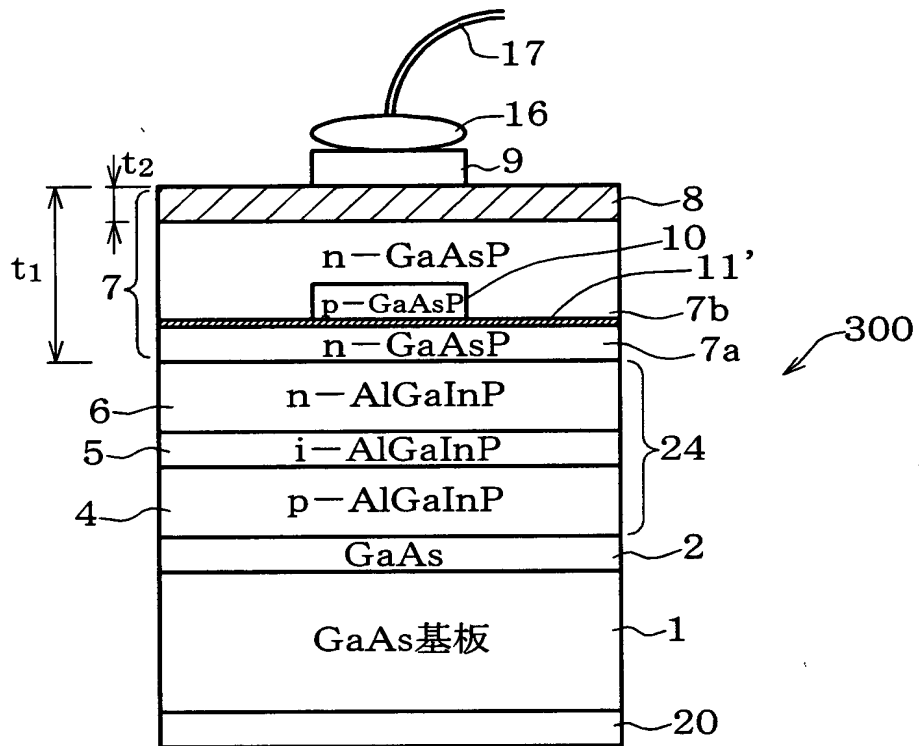
【図 5】



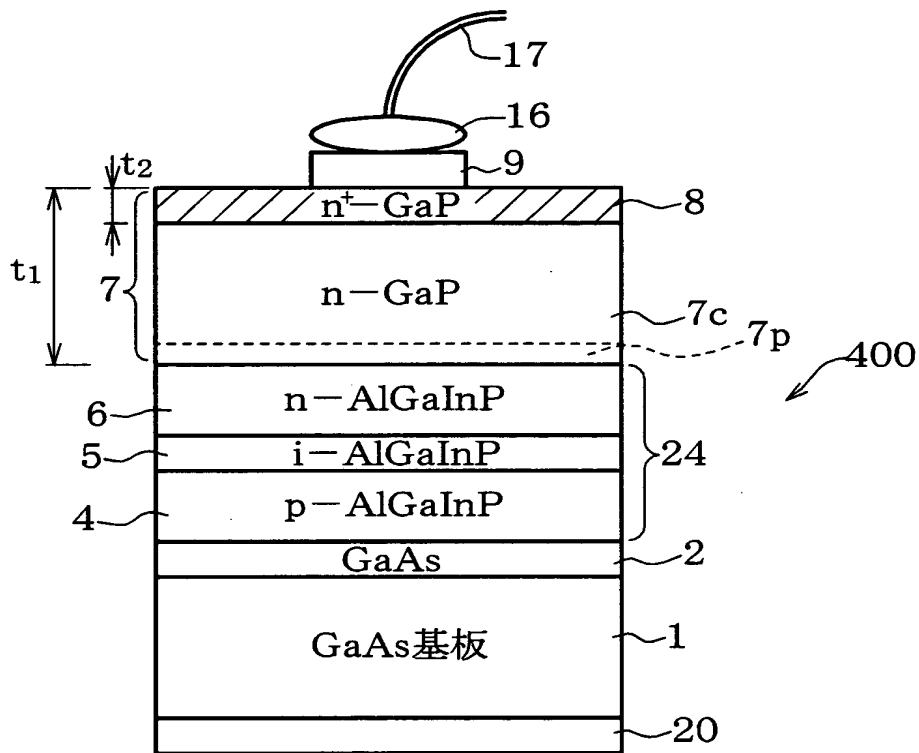
【図6】



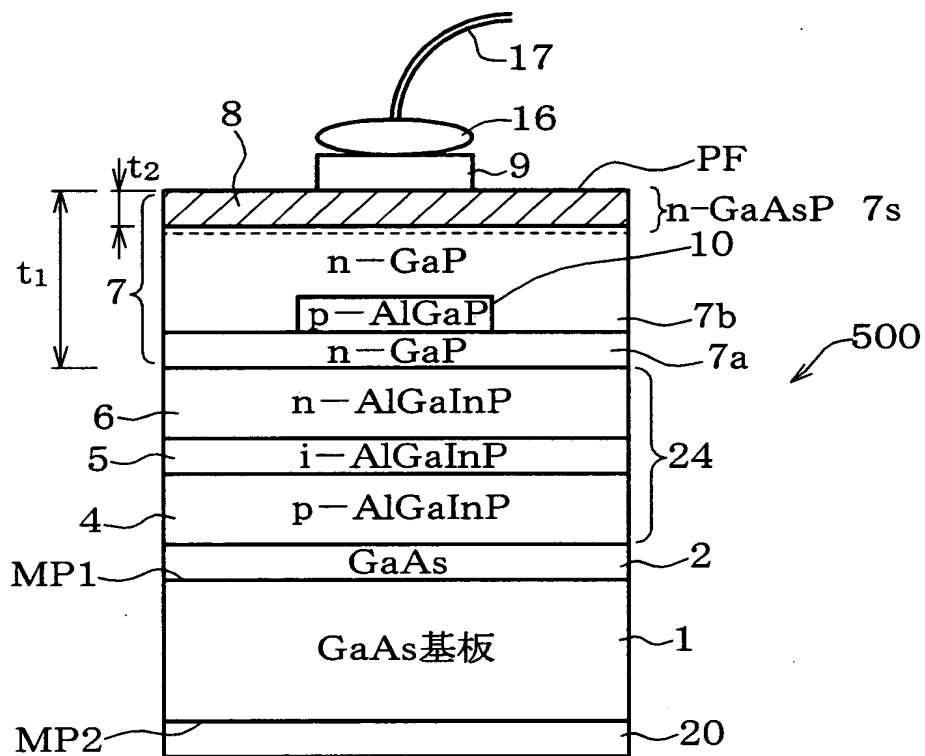
【図 7】



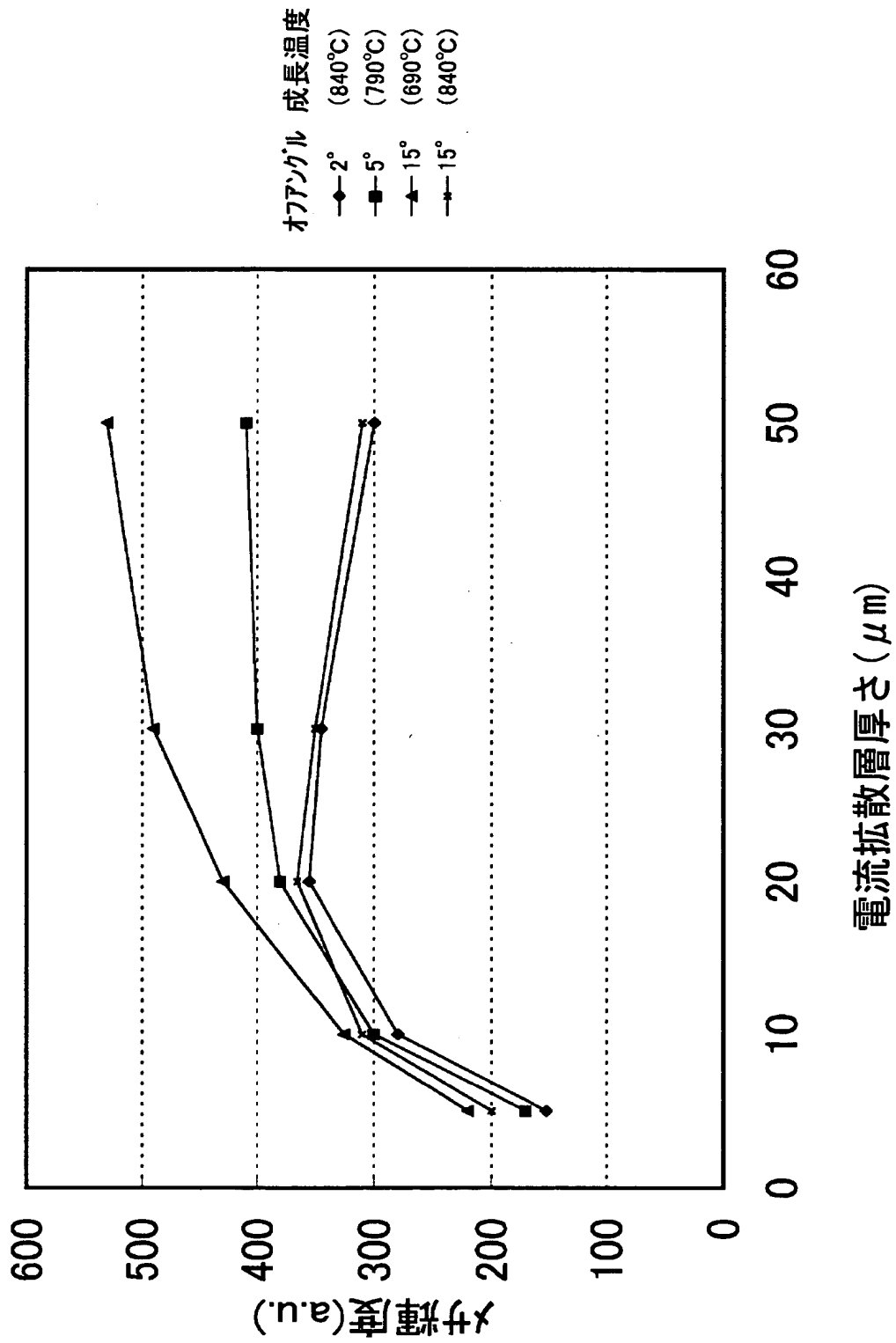
【図 8】



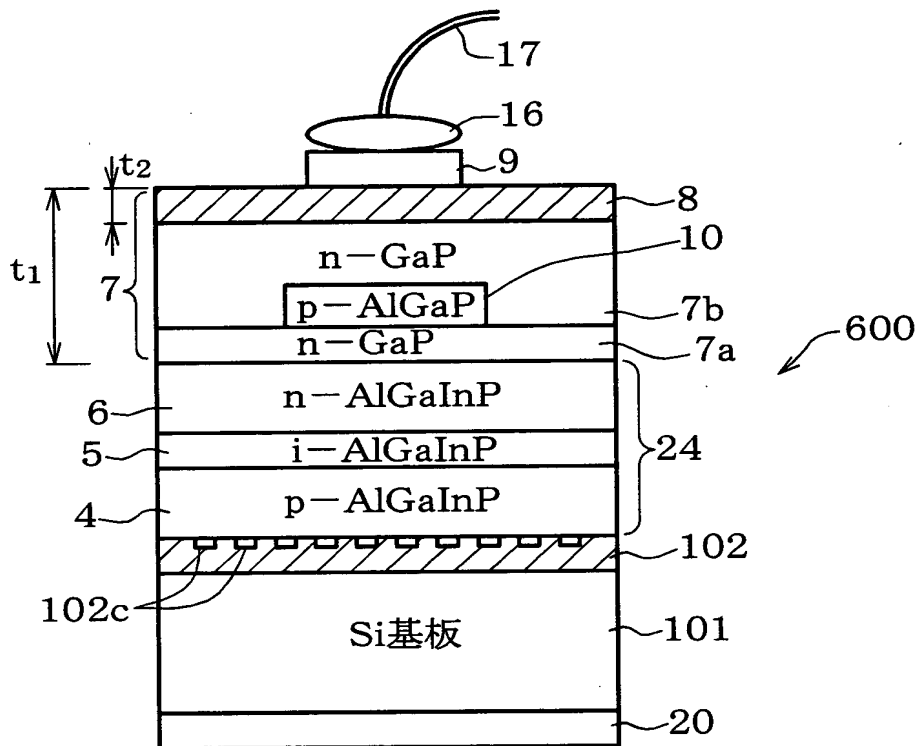
【図 9】



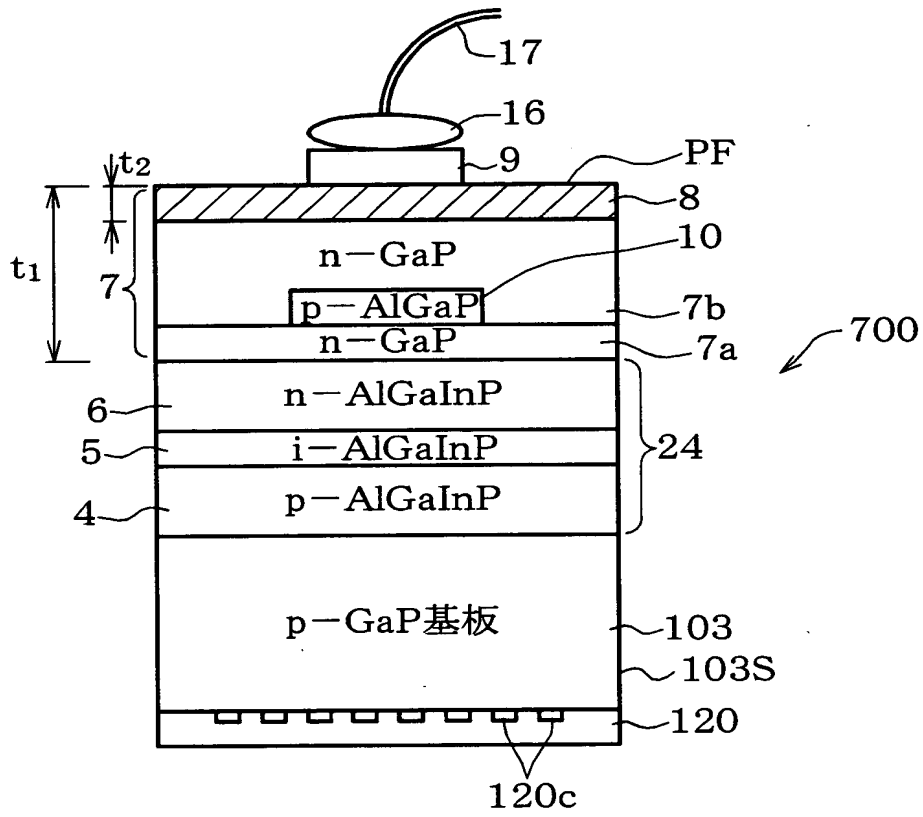
【図 10】



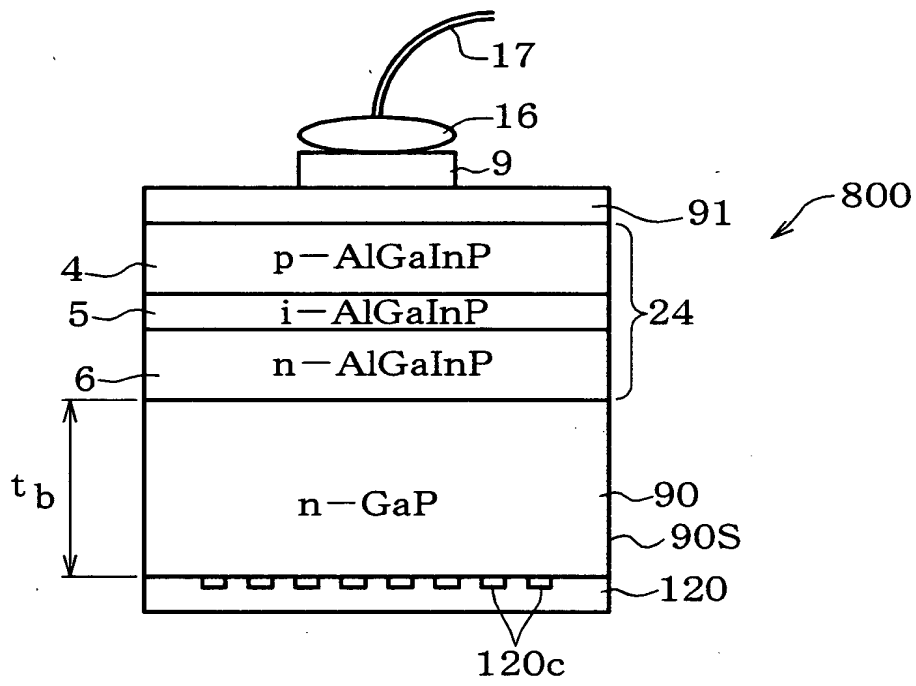
【図11】



【図12】



【図 1 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 導電型がn型とされる電流拡散層を効率よく形成できる発光素子の製造方法を提供することを第一の課題とし、n型とされる電流拡散層を用いつつも、素子ライフを向上可能な発光素子を提供することを第二の課題とする。

【解決手段】 発光素子100を製造するに際し、単結晶基板上1に、それぞれIII-V族化合物半導体からなる発光層部24と電流拡散層7とを形成する。発光層部24は有機金属気相成長法により形成し、該発光層部24の上に導電型がn型とされる電流拡散層7をハイドライド気相成長法により形成する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000190149]

1. 変更年月日 1990年 8月 7日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都千代田区丸の内1丁目4番2号
氏 名 信越半導体株式会社